Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 19, No. 4, Oct.-Nov. 2023, p. 427-450

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۹، شماره ۴، مهر - آبان ۱۴۰۲ ص. ۴۵۰-۴۲۷

Research Article
Homepage: https://ifstrj.um.ac.ir

Evaluation of the Effect of Sodium Stearoyl-2-lactylate Emulsifier, Xylanase Enzyme, and Alcoholic Sugar Sorbitol on the Quality of Wheat Bran Bread

P. Parsa[1], M. Mazaheri Tehrani [2]*, M. Mohebbi[3]

Received: 2021.11.06
Revised: 2021.12.13
Accepted: 2021.12.27
Available Online: 2022.05.15

How to cite this article:
Parsa, P., Mazaheri Tehrani, M., & Mohebbi, M. (2023). Evaluation of the effect of sodium stearoyl-2-lactylate emulsifier, xylanase enzyme, and alcoholic sugar sorbitol on the quality of wheat bran bread. *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 19*(4), 427-450. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2021.73474.1110

Introduction
Bran-enriched bread is a source of dietary fibers and other nutritional compounds; However, wheat bran also contains phytic acid, asparagine, a high ratio of insoluble to soluble fiber, insoluble arabinoxylans, and glutathione that cause nutritional and technological problems in the product. Therefore, to produce bran-enriched bread, it is necessary to use pre-processed wheat bran. Despite the modifications made in wheat bran to improve its nutritional and functional properties, wheat bran-rich cereal products have a dark color, rough texture, and small loaf volume. To improve the quality of bran-enriched bread, common additives in the bakery industry such as enzymes, alcoholic sugars, emulsifiers can be used. Xylanase is one of the important classes of hemicellulase enzymes that delays the aggregation of amylose chains, and consequently, bread staling. Moreover, the xylanase enzyme increases the loaf volume by converting water-insoluble arabinoxylans into soluble ones. SSL emulsifier can interact with gliadin protein and prevent its participation in crosslinking bonds, which softens the bread crumbs. Polyols can reduce water activity and improve the softness of bread. Sorbitol is commonly used in starch-based foods to improve their quality by modifying starch gelatinization and retrogradation. So far, no article has been presented on the simultaneous effect of enzyme, alcoholic sugar, and emulsifier improvers on bread enriched with processed wheat bran. In addition, the amount and composition of improvers used in combination with each other can cause various effects on different properties of bread. This study aims to improve the technological, physicochemical, and finally stalling of optimal bread enriched with 15% of pre-processed wheat bran while benefiting from the nutritional properties of wheat bran.

Materials and Methods
In this study, the effect of sodium stearoyl-2-lactylate emulsifier (0-0.8%), xylanase enzyme (0-0.05%), and sorbitol sugar alcohol (0-6%) as improving agents on The physicochemical and technological parameters of bread enriched with 15% pre-processed wheat bran were investigated based on the response surface method in the form of a rotatable central composite design. After that, design-expert software determined the optimum percentage of improvers to achieve the minimum amount of firmness and cohesiveness of bread and the maximum amount of specific volume, moisture of bread crumbs, lightness of bread crust, and solidity of bread pore structure. Finally, optimal and control samples were compared using the Differential Scanning Calorimetry and Scanning Electron Microscopic experiments.

1, 2 and 3- Ph.D. Student and Professors, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, respectively.
(*- Corresponding Author Email: mmtehrani@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.2021.73474.1110

Results and Discussion

The experiments showed the bread's firmness under the influence of SSL emulsifier and sorbitol alcoholic sugar and chewiness, by adding SSL emulsifier and xylanase enzyme decreased significantly. All three improvers caused a significant increase in the specific volume of bread. The pore characteristics of bread crumbs, such as solidity and circularity, were significantly improved by adding an SSL emulsifier, and roundness was considerably enhanced by adding sorbitol alcohol. The brightness of bread crust was also increased significantly by the SSL emulsifier and xylanase enzyme. In addition, the Xylanase enzyme improved the moisture content of bread by substantially increasing the moisture content of bread crumbs, and alcoholic sugar and SSL emulsifier with a significant reduction in crust moisture. Moreover, the chewiness of bread on the first day after baking, specific volume, moisture of bread crust on the third day after baking, and the solidity of bread crumbs were significantly improved due to the interaction of SSL emulsifier and sorbitol alcohol. Also, the interaction of the xylanase enzyme and SSL emulsifier improved the specific volume, moisture of the bread crumbs on the first day after baking, the lightness of the bread crust, the pore area fraction, and the circularity of the bread crumbs. Finally, the optimal formula was obtained, including 0.563% of SSL emulsifier, 0.040% of xylanase enzyme, and 2.356% of alcoholic sugar sorbitol. The results showed a significant decrease in enthalpy and an increase in the initial gelatinization temperature in the optimal sample compared to the control ones. Also, a weaker gluten network, more swelling, and amounts of starch granules in the microstructure of sample bread were observed.

Conclusion

In conclusion, SSL emulsifier by interaction with amylose and amylopectin in starch granules, sorbitol alcohol via interacting with water molecules surrounding starch chains or by bonding between starch chains in amorous regions, and xylanase enzyme through reducing rate of crystallization can reduce the gelatinization of starch granules, enthalpy, and finally the retrogradation process of amylopectin and stalling rate of bread with their synergic effects. In this research, we formulate the wheat bran-enriched bread that not only benefits from the nutritional features of wheat bran but also preserves the quality characteristics of bread.

Keywords*:* Differential Scanning Calorimetry, improving agents, Response Surface Methodology, Scanning Electron Microscopy, Wheat bran enriched-bread.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 19, No. 3, Oct.-Nove. 2023, p. 427-450

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۹، شماره ۴، مهر- آبان ۱۴۰۲ ص. ۴۵۰-۴۲۷

بررسی تأثیر امولسیفایر سدیم استئاروئیل-۲-لاکتیلات، آنزیم زایلاناز و قند الکلی سوربیتول بر کیفیت نان حجیم سبوس‌دار

پریسا پارسا[۱]- مصطفی مظاهری طهرانی[۲*]- محبت محبی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۶

چکیده

فرآورده‌های نانوایی غنی شده با سبوس گندم، منبعی سرشار از فیبر می‌باشند، اما وجود ترکیبات ضدتغذیه‌ای نظیر اسید فیتیک در سبوس گندم و به‌علاوه ایجاد اثرات تکنولوژیکی نامطلوب در نان در اثر برهم‌کنش سبوس گندم با ترکیبات ساختارساز آن، موجب محدودیت مصرف این فرآورده‌ها می‌گردد. لذا در این پژوهش برای تولید نان غنی‌شده قالبی از سبوس پیش‌فرآوری شده گندم، استفاده گردیده است. سپس اثر متغیرهای امولسیفایر سدیم استئاروئیل-۲- لاکتیلات (۰/۸-۰ درصد)، آنزیم زایلاناز (۰/۰۵-۰ درصد) و قند الکلی سوربیتول (۶-۰ درصد) به‌عنوان مواد بهبوددهنده بر پارامترهای فیزیکوشیمیایی و تکنولوژیکی نان غنی شده با ۱۵ درصد سبوس فرآوری شده گندم براساس روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر بررسی شده است. نتایج آزمایشات نشان داد که ویژگی‌های بافتی همچون سفتی مغز نان، پیوستگی و قابلیت جویدن، حجم مخصوص، روشنایی رنگ پوسته، رطوبت مغز و پوسته نان و ویژگی‌های یکپارچگی، مدور بودن و گردی حفرات مغز نان به‌واسطه اثر مستقل و تقابل هم‌افزای مواد بهبوددهنده به‌طور معنی‌داری بهبود یافتند. در نهایت فرمول بهینه شامل: ۰/ ۵۶۳ درصد امولسیفایر SSL، ۰/۰۴۰ درصد آنزیم زایلاناز و ۲/۳۵۶ درصد قند الکلی سوربیتول بدست آمد. نمونه بهینه و نمونه شاهد (فاقد مواد بهبوددهنده) با استفاده از آزمون گرماسنجی روبشی افتراقی و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مقایسه شدند و نتایج حاکی از کاهش قابل توجه آنتالپی و افزایش دمای اولیه ژلاتیناسیون در نمونه بهینه نسبت به نمونه شاهد بود، به‌علاوه در نمونه نان شاهد شبکه گلوتنی دارای پیوستگی کم‌تری بود و گرانول‌های نشاسته موجود در آن تورم بیشتری نسبت به نمونه بهینه داشتند. لذا باتوجه به نتایج این دو آزمون می‌توان نتیجه گرفت که میزان بیاتی نمونه بهینه تحت اثر هم‌افزای سه ماده بهبوددهنده کمتر از نمونه شاهد است.

واژه‌های کلیدی: روش سطح پاسخ، گرماسنجی روبشی افتراقی، مواد بهبوددهنده، میکروسکوپ الکترونی روبشی، نان غنی شده با سبوس گندم

مقدمه

نان قالبی از انواع نان‌های حجیم است که با استفاده از آرد نول یا مخلوطی از آرد نول و ستاره تولید می‌گردد، لذا به علت درجه استخراج پایین آرد موجود در آن، دارای مقدار اندکی از موادمعدنی، ویتامین‌ها و فیبرهای رژیمی است (Ferng *et al*., 2015). از این‌رو تحقیقات گسترده‌ای به‌منظور تولید نان‌های حجیم غنی شده با منابع مختلفی از فیبرهای رژیمی صورت گرفته است (Mudgil *et al*., 2016). سبوس گندم محصول جانبی آسیابانی دانه گندم و محتوی ۵۰-۴۴ درصد فیبر رژیمی و منبع غنی از دیگر ترکیبات مغذی است؛ لیکن سبوس گندم خام به‌واسطه دارا بودن ترکیبات ضد تغذیه‌ای مانند اسید فیتیک و آسپاراژین، نسبت بالای فیبرهای نامحلول به محلول، آرابینوزایلان‌های نامحلول و گلوتاتیون سبب ایجاد مشکلات تغذیه ای و تکنولوژیکی در محصول می‌گردد (Hemery *et al*., 2007; Khalid *et al*., 2017; Kumar *et al*., 2010; Noort *et al*., 2010). بنابراین به‌منظور تولید نان‌های غنی‌شده، استفاده از سبوس پیش فرآوری شده گندم ضروری است. اما در صنعت برای تولید نان‌های حجیم سبوس‌دار از سبوس گندم فرآوری نشده یا آرد کامل استفاده می‌شود که مشکلات تغذیه‌ای ایجاد می‌کنند و یا به‌منظور حفظ ویژگی‌های تکنولوژیکی از درصد پایین سبوس فرآوری شده گندم (زیر ۱۰ درصد) استفاده می‌گردد. همچنین به رغم اصلاحاتی که در سبوس گندم جهت بهبود خصوصیات

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادان، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: mmtehrani@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/ifstrj.2021.73474.1110

تغذیه‌ای و عملکردی آن صورت می‌گیرد؛ فرآورده‌های غلات با مقادیر بیش از ۱۰ درصد سبوس گندم، دارای بافت، طعم و رنگ نامناسبی هستند که این خصوصیات به‌صورت تیره شدن رنگ مغز و پوسته نان، کاهش حجم قرص نان، افزایش سفتی بافت و بیاتی نان نمایان می گردند (Bakke and Vickers, 2007; Kiumarsi *et al*., 2019). به‌منظور بهبود کیفیت نان‌های غنی شده با سبوس، می‌توان از افزودنی متداول در صنعت نانوایی همچون آنزیم ها، قندهای الکلی و امولسیفایرها، استفاده نمود.

در سال‌های اخیر، استفاده از آنزیم‌ها در کاربردهای تجاری بنابر تقاضای مصرف‌کنندگان برای استفاده از ترکیبات طبیعی در فرآورده های نانوایی افزایش یافته است. آنزیم زایلاناز جزو دسته مهمی از همی سلولازها است که پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای را به قند زایلوز و الیگوساکاریدها هیدرولیز می‌کنند (Jiang *et al*. 2019). آنزیم زایلاناز به‌منظور تثبیت ساختار خمیر، افزایش انعطاف‌پذیری آن، بهبود مقاومت گلوتن و کاهش رتروگراداسیون نشاسته در صنعت نانوایی استفاده می‌شود (Altınel and Ünal, 2017b; Yang *et al*., 2014). پژوهش داسیلوا و همکاران (Da Silva *et al*., 2016) نشان داد که افزودن آنزیم زایلاناز به نان حاوی آرد کامل گندم، به واسطه تجزیه اجزاء دیواره سلولی، تغییر توزیع آب میان نشاسته، گلوتن و ذرات سبوس در طی مدت زمان نگهداری نان، موجب به تأخیر انداختن رتروگراداسیون نشاسته و درنتیجه روند بیاتی نان می‌گردد. آلتینل و اونال (Altınel and Ünal, 2017a) نیز بیان کردند که در مخلوطی ۴۰:۶۰ از آرد سفید و آرد کامل گندم، افزودن آنزیم زایلاناز، باعث افزایش حجم نان به واسطه تبدیل آرابینوزایلان‌های غیر محلول در آب به نوع محلول می گردد که موجب بهبود ظرفیت نگهداری گاز در خمیر می‌شود.

امولسیفایرها ترکیبات فعال سطحی هستند که نقش آن‌ها به‌عنوان افزودنی در صنایع نانوایی، نرم کردن مغز نان و تولید نانی با زمان ماندگاری بالاتر است، که علت آن می‌تواند به‌واسطه توانایی این ترکیبات در ایجاد پیوند با پروتئین‌های گلوتنی و نشاسته باشد (Colakoglu and Özkaya, 2012). امولسیفایر SSL می‌تواند با پروتئین گلیادین، برهمکنش ایجاد کرده و مانع از مشارکت آن در تشکیل پیوندهای عرضی گردد، که این امر موجب نرم‌شدن مغز نان می‌شود (Van Steertegem *et al*., 2013). پژوهش‌های دودو و همکاران (Dudu *et al*., 2020) نشانگر این امر بود که افزودن امولسیفایر سدیم استئاروئیل-۲- لاکتیلات[1] به نان‌های حاصل از آرد مخلوط گندم و کاساوا موجب کاهش رتروگراداسیون آمیلوپکتین در طی مدت زمان نگهداری نان گردید. نتایج مطالعات پورفرزاد و همکاران (Pourfarzad *et al*., 2019) نیز نشان داد که افزودن امولسیفایر SSL به سیستم های مدل محتوی گلوتن و ۱۰ درصد فیبر رژیمی محلول اینولین، موجب افزایش خواص ویسکوالاستیک خمیر، بهبود قابلیت آن در نگهداری حباب های گاز و بنابراین افزایش حجم و کیفیت نان می گردد .

قندهای الکلی به طورمعمول در مواد غذایی برپایه نشاسته به منظور بهینه‌سازی فرآیند تولید و بهبود کیفیت آن ها از طریق اصلاح کردن ژلاتیناسیون و رتروگراداسیون نشاسته استفاده می‌شوند (Tian *et al*., 2009). پورفرزاد و همکاران (Pourfarzad *et al*., 2014) گزارش کردند که افزودن سوربیتول به نان بربری غنی شده با سویا باعث کاهش سفتی نان‌ها پس از گذشت دو روز از زمان نگهداری شد. همچنین رطوبت مغز نان‌های حاوی سوربیتول پس از مدت زمان نگهداری، به طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر از نمونه شاهد بود. بیشه و کائور (Bhise and Kaur, 2017) نیز دریافتند که افزودن ۴ درصد سوربیتول به نان‌های حاوی فیبرهای اسفرزه و جو، باعث ایجاد کمترین میزان سفتی در مغز نان‌ها در مقایسه با نمونه شاهد می‌گردد.

در پژوهش‌های پیشین تأثیر آنزیم زایلاناز به‌تنهایی یا به‌همراه سایر آنزیم‌های متداول در صنعت نانوایی، عمدتاً بر کیفیت خمیر و نان های حاصل از آرد کامل گندم بررسی شده است و تحقیقات درخصوص نان‌های غنی‌شده با سبوس محدوده بوده است (Both *et al*., 2020; Da Silva *et al*., 2016; Ghoshal *et al*., 2016; Jaekel *et al*., 2012; Liu *et al*., 2017; Schoenlechner *et al*., 2013; Shah *et al*., 2006). اثر امولسیفایر SSL نیز بیشتر بر خصوصیات مختلف نان‌های سفید گندم و همچنین در برخی از پژوهش‌ها، تلفیق این امولسیفایر با آنزیم‌هایی همچون آلفا-آمیلاز، هیدروکلوئیدها و انواع دیگری از امولسیفایر در نان‌های حاصل از مخلوطی از آردها و حاوی فیبرهایی مانند اینولین و نشاسته مقاوم مطالعه شده است (Atalay *et al*., 2013; Bilgiçli *et al*., 2014; Dudu *et al*., 2020; Eduardo *et al*., 2016; Gomes-Ruffi *et al*., 2012; Gómez *et al*., 2013; Pourfarzad *et al*., 2019). اما از قند الکلی سوربیتول نسبت به سایر مواد بهبوددهنده در مطالعات محدودی در رابطه با فرآورده‌های نانوایی استفاده شده است که این مطالعات نیز به‌طور عمده درخصوص نان‌های سفید گندم و بدون گلوتن صورت گرفته است (Ahmad, 2016; Bhise and Kaur, 2014; Borges and Salas-Mellado, 2016; Ding *et al*., 2019; Pourfarzad *et al*., 2011; Zhou *et al*., 2016). اما تاکنون مقاله‌ای در رابطه با اثر همزمان سه نوع بهبوددهنده آنزیمی، قند الکلی و امولسیفایر بر نان غنی‌شده با سبوس فرآوری شده گندم، ارائه نشده است. ضمناً میزان و ترکیب مواد بهبود-دهنده‌ای که در تلفیق با یکدیگر استفاده می‌شوند، می‌تواند موجب ایجاد اثرات متفاوتی در خصوصیات مختلف نان گردد. مطالعات پژوهشگران نشان داد، علارغم اثرگذاری مثبت آنزیم زایلاناز بر ویژگی‌هایی

1- Sodium Stearoyl-2-Lactylate Emulsifier (SSL)

همچون حجم مخصوص در نان‌های حاوی آرد کامل گندم در سایر پژوهش‌ها، افزودن این آنزیم به‌همراه مواد بهبوددهنده دیگر (امولسیفایر داتم و گلوتن) عملکرد آن را تحت الشعاع قرار داده و آنزیم زایلاناز اثر قابل توجهی بر حجم مخصوص نداشته است (Da Silva *et al*., 2016). اما نتایج مطالعه‌ای دیگر حاکی از این مطلب بود که افزودن آنزیم زایلاناز به‌تنهایی یا در ترکیب با آنزیم‌های آلفا-آمیلاز و ترانس گلوتامیناز اثر یکسانی بر حجم مخصوص و سفتی بافت نان داشت (Grausgruber *et al*., 2008).

هدف از این مطالعه ضمن بهره‌مندی از خواص تغذیه‌ای سبوس گندم، بهبود خصوصیات تکنولوژیکی، فیزیکوشیمیایی و در نهایت بیاتی نان بهینه غنی‌شده با ۱۵ درصد سبوس فرآوری شده گندم می‌باشد. لذا به این منظور برای غنی‌سازی نان از سبوس فرآوری شده گندم استفاده شد، سپس اثر مستقل و برهمکنش سه نوع بهبوددهنده‌ی امولسیفایر SSL، قند الکلی سوربیتول و آنزیم زایلاناز بر ویژگی‌های بافتی، حجم مخصوص، رطوبت، افت وزن، رنگ و ویژگی‌های حفرات مغز نان مطالعه گردید. همچنین، اینکه آیا تقابل این سه نوع ماده بهبوددهنده اثر مثبتی بر ویژگی‌های ذکر شده دارد یا خیر و ترکیب بهینه آن‌ها می‌تواند از طریق تغییر خواص حرارتی و ریزساختار نان بر بیاتی نان غنی شده با ۱۵ درصد سبوس فرآوری شده گندم اثر هم‌افزای مثبت داشته باشد یا خیر، مدنظر بوده است.

مواد و روش‌ها

آرد گندم با درجه استخراج ۷۲ درصد، سبوس گندم فرآوری شده (تخمیر شده مرطوب) با اندازه ذرات کمتر از ۵۰۰ میکرون، امولسیفایر SSL، آنزیم زایلاناز و مخمر خشک فعال به‌ترتیب از شرکت‌های آرد طلایی پرند (تهران)، پایلوت صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد (مشهد)، پارس بهبود آسیا (مشهد)، سیگما (آمریکا) و شرکت خمیر مایه رضوی (فریمان) تهیه شدند. کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمون ها نیز از شرکت‌های مرک (آلمان) و سیگما (آمریکا) تأمین گردیدند. نمک، شکر، روغن، پودر آب پنیر بدون چربی، بهبوده دهنده مخصوص نان حجیم و قند الکلی سوربیتول نیز از بازار محلی خریداری شدند. رطوبت، خاکستر، پروتئین و چربی نمونه‌های آرد و سبوس به‌ترتیب مطابق با روش‌های ۱۹-۴۴، ۱۲-۰۸، ۱۲-۴۶ و ۱۰-۳۰ براساس استاندارد (AOAC, 2000) تعیین گردید. رطوبت، چربی، پروتئین و خاکستر برای آرد گندم به‌ترتیب ۱۲/۳۸ درصد، ۱/۲۳۴ درصد، ۸/۹۸ درصد و ۰/۵۶ درصد بود. اندازه گیری اسید فیتیک در سبوس با استفاده از روش جایگزینی با فلز آهن به وسیله دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا[1] با اندکی تغییرات در طول موج ۶۶۰ نانومتر صورت گرفت (Dost and Tokul, 2006). اندازه گیری فیبر خام در سبوس برمبنای جزء باقیمانده از نمونه مورد آزمایش با محلول‌های استاندارد سولفوریک اسید و هیدروکسید سدیم تحت شرایط کنترل شده و نهایتاً تبدیل آن به خاکستر به روش کوره انجام پذیرفت (AOAC, 2000). فیبرهای رژیمی محلول و نامحلول درسبوس با استفاده از روش آنزیمی- وزنی براساس استاندارد AOAC – ۹۹۱/۴۳ مورد آزمون قرار گرفتند (AOAC, 2000) . اندازه‌گیری آهن در سبوس با استفاده از دستگاه جذب اتمی در طول موج ۶۴۴ نانومتر صورت گرفت (Kassem and Amin, 2013).

روش تهیه نان حجیم سبوس دار

در ابتدا مواد پودری، آرد و روغن به مدت ۲ دقیقه در همزن اسپیرال (Huger، مدل HG550TMEM) با دور کند با یکدیگر مخلوط شدند، سپس آب به آرامی تا دقیقه ششم به مخلوط اضافه گردیدند و پس از آن ۴ دقیقه انتهایی مخلوط کردن با دور تند همزن انجام شد. پس از اتمام مرحله مخلوط کردن، خمیرها به قطعاتی با وزن ۳۵۰ گرم تقسیم و توزین شده و سپس گرد گردیدند. در مرحله بعد خمیرها در مدت زمان ۲۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد استراحت کردند. سپس رول شده، در داخل قالب آلمینیومی با ابعاد ۹/۵ * ۱۹/۵ * ۵/۵ گذاشته شدند و برای انجام مرحله تخمیر نهایی به مدت ۱ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد در گرمخانه (Memmert CO_2 Incubator، مدل $INCO_2/108$، ساخت کشور آلمان) قرار داده شدند. در مرحله پایانی خمیرها به مدت ۳۵ دقیقه در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد در فر پخت نانوایی (Sinmag، مدل SM-705E-E)، پخته شدند. سپس به مدت ۱ ساعت در دمای محیط خنک شده و در بسته‌هایی از جنس پلی‌اتیلن قرار گرفتند (Ghoshal *et al*., 2013).

اندازه‌گیری رطوبت پوسته و مغز نان

محتوای رطوبت پوسته و مغز نان‌ها در روز اول و سوم پس از پخت براساس روش AOAC اندازه‌گیری شد (AOAC, 2000).

اندازه‌گیری حجم مخصوص نان

اندازه‌گیری حجم نان ها ۱ روز پس از پخت و سرد شدن نان ها با استفاده از روش جابه جایی دانه ارزن انجام شد و سپس با تقسیم کردن حجم بر وزن نان‌ها، مقدار حجم مخصوص به‌دست آمد (AACC, 2000).

1- High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

اندازه‌گیری افت وزنی نان

افت وزنی[1] نان‌ها با وزن کردن چانه‌ها و وزن نان‌های حاصل پس از پخت و سرد کردن از طریق تفریق وزن چانه از وزن نان پس از پخت، تقسیم بر وزن چانه محاسبه شد (Phimolsiripol *et al*., 2008).

آزمون آنالیز پروفایل بافت نان

ابتدا از نمونه‌های نان برش‌هایی مکعبی شکل با ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر تهیه شد. سپس نان‌ها به‌وسیله دستگاه آنالیز پروفایل بافت با استفاده از پروب آلمینیومی به قطر ۴/۵ سانتی‌متر، با بارگزاری ۵ کیلو-گرم به میزان ۴۰ درصد فشرده گردیدند. سرعت انجام آزمون نیز ۱/۷ میلی‌متر بر ثانیه بود. ویژگی هایی همچون سفتی[2]، الاستیسیته[3]، قابلیت جویدن[4] و پیوستگی[5] در روز اول و سوم پس از پخت نان بررسی شد (Purhagen *et al*., 2011).

آزمون گرماسنجی روبشی افتراقی[6]

ابتدا تکه‌هایی به وزن ۲۰ میلی گرم از مرکز هندسی نان‌ها در روزهای اول و سوم پس از پخت تهیه شد. سپس با استفاده از دستگاه DSC-60 (Shimadzu, Japan) و سیستم آنالیز حرارتی TA-60WS، آنتالپی برحسب واحد ژول بر گرم، دمای اولیه و پیک ژلاتیناسیون برحسب درجه سانتیگراد در نمونه‌ها در محدوده دمایی ۲۵ تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه محاسبه شد (Shahbazi *et al*., 2017).

بررسی ریزساختار نان با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی[7]

به‌منظور ارزیابی تأثیر مواد بهبوددهنده بر ریزساختار نان بهینه و شاهد، از SEM استفاده شد. ابتدا نمونه‌های نان به‌شکل مکعب‌هایی با ضخامت ۵ میلی‌متر برش داده شدند. سپس با استفاده از خشک‌کن انجمادی خشک گردید و در مرحله بعد روی پایه‌های آلمینیومی دستگاه لایه نشانی طلا با استفاده از چسب نصب گردیدند و با لایه‌ای از فلز طلا و پالادیوم پوشش داده شدند. در نهایت از نمونه‌های نان با بزرگ نمایی ×۱۰۰۰ عکس‌برداری شد (Sheikholeslami *et al*., 2021).

پردازش تصاویر نان

تصویربرداری از نمونه‌های نان

تصویر برداری از نمونه‌های نان در اتاقکی با دیوارهای مشکی صورت گرفت. از ۴ عدد لامپ در ردیف اول و آخر به‌منظور تأمین روشنایی استفاده گردید. تصویربرداری با استفاده از دوربین Canon مدل DS126191 ساخت کشور تایوان انجام شد. فاصله دوربین که برروی پایه ثابت قرار داشت از نمونه ۲۰ سانتی‌متر بود و تصاویر به فرمت JPG ذخیره شدند.

ارزیابی اندازه و شکل حفرات مغز نان

برای بررسی ویژگی‌های حفرات مغز نان به کمک نرم‌افزار Matlab پس از تبدیل تصویری رنگی ورودی به تصویر خاکستری، یک مقدار آستانه مناسب به‌منظور باینری کردن تصویر برای آن تعیین شد. سپس تصاویر باینری حاصل را منفی کرده تا نقاط سفید آن به سیاه و بالعکس تبدیل شوند. به این ترتیب حفرات که نقاط تیره تصویر هستند، مقادیر ۱ را به خود اختصاص می‌دهند و به‌عنوان اشیاء موجود در تصویر شناخته می‌شوند. حال به کمک روش شناسایی اجزاء متصل در تصویر که یکی از تکنیک‌های موجود در حوزه شکل شناسی است، پیکسل‌های مربوط به حفرات تصویر مغز نان را از بقیه پیکسل‌های تصویر جدا کرده و ویژگی‌هایی همچون تعداد حفرات[8]، کسر سطح حفرات[9]، مدور بودن[10]، گردی[11] و یکپارچگی[12] را برای آن‌ها استخراج شدند (Gonzalez and Woods 2008).

ارزیابی رنگ پوسته نان

به منظور ارزیابی رنگ پوسته نان، عکس‌برداری از نمونه‌های نان با استفاده از دوربین دیجیتال صورت گرفت و فاکتورهای L^*، a^* و b^* به وسیله جعبه ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار متلب[13] محاسبه گردید (Sun, 2016).

1- Weight loss
2- Hardness
3- Springiness
4- Chewiness
5- Cohesiveness
6- Differential Scanning Calorimetry (DSC)
7- Scanning Electron Microscopy (SEM)

8- Pore number
9- Pore area fraction
10- Circularity
11- Roundness
12- Solidity
13-MATLAB

جدول ۱- متغیرهای مستقل و مقادیر آن ها در نرم افزار دیزاین اکسپرت
Table 1-Independent variables and their values in Design Expert software

Independent variables متغیرهای مستقل	Minimum value کمترین مقدار	-α منفی آلفا	Central point نقطه مرکزی	Maximum value بیشترین مقدار	+α مثبت آلفا
SSL emulsifier (%) امولسیفایر SSL (برحسب درصد)	0	0.16215	0.4	0.8	0.63784
Xylanase enzyme (%) آنزیم زایلاناز (برحسب درصد)	0	0.01	0.025	0.05	0.039865
Alcoholic sugar sorbitol (%) قند الکلی سوربیتول (برحسب درصد)	0	1.21619	3	6	4/78381

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش، مدلسازی رابطه میان مواد بهبود دهنده افزوده شده به فرمولاسیون و پارامترهای فیزیکوشیمیایی و تکنولوژیکی نان و بهینه‌سازی فرمولاسیون نان غنی‌شده با ۱۵ درصد سبوس فرآوری شده گندم با استفاده از نرم افزار دیزاین اکسپرت[1] (نسخه ۱۲) و در قالب طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر[2]، با سه فاکتور و در ۵ سطح بررسی شد. همچنین پردازش تصاویر بوسیله نرم‌افزار متلب (نسخه ۲۰۱۶ b) انجام شد و مقایسه میانگین بوسیله روش تی-استیودنت در سطح (p<۰/۰۵) صورت گرفت. پاسخ‌های مورد بررسی به‌عنوان متغیر وابسته و سطوح متغیرهای امولسیفایر SSL، آنزیم زایلاناز و قند الکلی سوربیتول به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. جدول ۱ سطوح مختلف متغیرهای مستقل ارائه شده توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت و جداول ۳، ۴ و ۵ مقادیر معنی‌داری اجزاء معادلات درجه دوم و آنالیز آماری آن‌ها را نشان می‌دهند. انتخاب مدل مناسب و بررسی کفایت آن برای برازش پاسخ‌ها با استفاده از شاخص-های معنی‌داری رگرسیون، ضعف برازش[3]، ضریب تبیین[4]، ضریب تبیین اصلاح شده[5] و ضریب تغییرات[6] صورت پذیرفت. ضمناً نمونه بهینه با استفاده از روش بهینه‌سازی عددی به‌وسیله نرم‌افزار دیزاین اکسپرت تعیین شد.

بررسی شاخص‌های مدل انتخابی برای پاسخ‌ها

بررسی ها نشان‌داد که مدل درجه دوم برازش بهتری برای تمامی پاسخ‌ها (حجم مخصوص، افت وزن، رطوبت پوسته و مغز نان، ویژگی های بافتی، رنگ پوسته و ویژگی‌های حفرات مغز نان) داشت. معادلات درجه دوم برازش یافته برای هر پاسخ نیز از معادله ۱ تا ۲۲ در متن ارائه شده‌اند که در این معادلات A، B و C به‌ترتیب نشان دهنده امولسیفایر SSL، آنزیم زایلاناز و قند الکلی سوربیتول هستند.

نتایج حاصل از جداول ۳، ۴ و ۵ نیز نشان داد که مدل درجه دوم از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد (p<۰/۰۰۰۱)، اما آزمون ضعف برازش در مدل‌های درجه دوم پیشنهاد شده، غیرمعنی‌دار بود (p>۰/۰۵). ضمناً برای تمامی پاسخ‌ها ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح شده بیشتر از ۰/۸۳ و ضریب تغییرات کمتر از ۱۰ بود که این مطلب حاکی از کفایت مدل انتخابی برای برازش داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سبوس گندم فرآوری شده

در جدول ۲ نتایج آنالیز ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سبوس فرآوری شده گندم ارائه شده است.

تأثیر مواد بهبود دهنده بر ویژگی‌های بافتی نان

اثر امولسیفایر SSL، آنزیم زایلاناز و قند الکلی سوربیتول بر ویژگی بافتی شامل سفتی، قابلیت جویدن، الاستیسته و پیوستگی در روز اول و سوم پس از پخت مورد بررسی شد.

پارامتر سفتی از دیدگاه مکانیکی حداکثر نیروی لازم برای تغییر شکل ماده غذایی در سیکل اول فشردن است. نتایج آنالیز جدول ۳ و معادلات ۱ و ۲ نشان می‌دهد که امولسیفایر SSL در حالت مستقل در روزهای اول و سوم پس از پخت و همچنین قند الکلی سوربیتول در روز سوم بر پارامتر سفتی مغز نان اثری منفی و بسیار معنی‌دار داشتند (p<۰/۰۰۰۱). به‌علاوه مطابق با نتایج ارائه شده در شکل ۱، با افزایش امولسیفایر SSL و کاهش قند الکلی سوربیتول در حالت متقابل سفتی نان در روز اول پس از پخت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (p<۰/۰۱). لیکن کاهش متقابل هر دو بهبوددهنده در روز سوم پس از پخت، موجب کاهش این پارامتر گردید (p<۰/۰۱). روند تغییرات

1- Design Expert software
2- Central Composite Rotatable Design (CCRD)
3- Lack of fit
4- R-squared (R2)
5- Adjusted R-squared (Adjusted-R2)
6- Coefficient of Variation (C.V.)

میزان سفتی مغز نان‌ها در روز سوم نسبت به روز اول پس از پخت، افزایشی بود. تیمار شماره ۴ در روز اول پس از پخت کمترین میزان سفتی را دارا بود. کمترین مقدار سفتی مغز نان در روز سوم نیز در تیمار شماره ۲۰ با ۰/۶۳۷۸ درصد امولسیفایر SSL، ۰/۰۳۹۸۵ درصد آنزیم زایلاناز و ۴/۷۸۳۸ درصد قند الکلی سوربیتول و تیمار شماره ۴ با ترکیب مواد بهبود دهنده شامل: ۰/۶۳۷۸ درصد امولسیفایر SSL، ۰/۰۱۰۱۳ درصد آنزیم زایلاناز و ۴/۷۸۳۸ درصد قند الکلی سوربیتول مشاهده شد. روند افزایش مقدار سفتی مغز نان در تیمار شماره ۴، در طی مدت ۳ روز از زمان پخت کمتر از سایر تیمارها است. مقدار قند الکلی سوربیتول و امولسیفایر SSL در هر دو تیمار ذکر شده مساوی است که این امر نشان‌دهنده تأثیر قابل ملاحظه این دو بهبوددهنده در روز سوم پس از پخت است.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سبوس گندم فرآوری شده (میانگین± انحراف معیار)

Table 2- Physicochemical properties of processed wheat bran (mean ± standard deviation)

Properties ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری	Processed wheat bran sample نمونه سبوس فرآوری شده
Crude fiber (%) فیبر خام (برحسب درصد)	10.075±0.085
Soluble fiber (%) فیبر محلول (برحسب درصد)	14.35±0.0150
Insoluble fiber (%) فیبر نامحلول (برحسب درصد)	44.516±0.0160
pH (%) pH (برحسب درصد)	5.403±0.005
Protein (%) پروتئین (برحسب درصد)	15.883±0.015
Fat (%) چربی (برحسب درصد)	7.190±0.020
Ash (%) خاکستر (برحسب درصد)	7.033±0.035
Phytic acid (mg g^{-1}) اسید فیتیک (برحسب درصد)	14.41±0.410
Iron (mg $100g^{-1}$) آهن (برحسب میلی گرم در ۱۰۰ گرم)	23.840±0.030

$$\text{Hardness } 1 = +2.39 - 0.3175 * A - 0.0749 * B - 0.0786 * C - 0.1474 * AB - 0.2346 * AC + 0.0889 * A^2 - 0.2443 * B^2 - 0.0653C^2$$

(معادله-۱)

$$\text{Hardness } 3 = +2.80 - 0.1634 * A + 0.0199 * B - 0.2144 * C - 0.1728 * AC + 0.1419 * BC - 0.0641B^2$$

(معادله-۲)

مطالعات گومز-راف و همکاران (Gomes-Ruffi *et al*., 2012) نشان داد که امولسیفایر SSL اثر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش پارامتر سفتی نان در زمان ۰، ۶ و ۱۰ روز پس از پخت دارد. این امر نشانگر اثر نرم‌کنندگی این بهبوددهنده در طی زمان نگهداری طولانی مدت است. در واقع امولسیفایر SSL ازطریق تشکیل کمپلکس با مولکول های نشاسته و کاهش وزن مولکولی آن‌ها، باعث تأخیر در روند بیات شدن نان می‌گردد. همچنین مطالعات پورفرزاد و همکاران (Pourfarzad *et al*., 2011) درخصوص اثر قند الکلی سوربیتول بر نان بربری غنی شده با آرد سویا، نشان داد که روند افزایش سفتی نان‌های حاوی ۱ و ۵ درصد سوربیتول در مقایسه میان روز اول و دوم از زمان نگهداری، کمتر از نمونه شاهد بود. علت آن می‌تواند اثر پلاستیسایزری سوربیتول بر کاهش میزان پیوندهای عرضی در نشاسته رتروگرید شده، باشد.

قابلیت جویدن نان در روز اول و سوم پس از پخت، تحت اثر مستقل امولسیفایر SSL و آنزیم زایلاناز کاهش معنی‌داری یافت ($p<0.01$). ضمن آنکه اثر قند الکلی سوربیتول نیز در روز اول پس از پخت، منفی

و معنی‌دار بود (p<۰/۰۱)، این نتایج حاصل از آنالیز دادها در جدول ۳ و معادلات ۳ و ۴ است که در ذیل آورده شده‌اند. همچنین تمامی اثرات متقابل و مضاعف متغیر قابلیت جویدن مغز نان در روز اول معنی‌دار بودند (p<۰/۰۱)، اما در روز سوم تنها اثرات متقابل و مضاعف آنزیم زایلاناز و قند الکلی سوربیتول معنی‌دار بود (p<۰/۰۵). بنابر نتایج شکل ۱ افزایش متقابل امولسیفایر SSL و قند الکلی باعث کاهش مقدار قابلیت جویدن در روز اول پس از پخت شد. همچنین با افزایش میزان SSL و زایلاناز قابلیت جویدن نان در روز سوم پس از پخت در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. درضمن باوجود افزایش اندک در مقدار پارامتر قابلیت جویدن در روز سوم نسبت به روز اول، تیمار شماره ۷ با ترکیب مواد بهبود دهنده شامل : ۰/۴ درصد امولسیفایر SSL، ۰/۰۵ درصد آنزیم زایلاناز و ۳ درصد قند الکلی سوربیتول و تیمار شماره ۴ با ۰/۶۳۷۸ درصد امولسیفایر SSL، ۰/۰۳۹۸۶ درصد آنزیم زایلاناز و ۴/۷۸۳۸ درصد قند الکلی سوربیتول کمترین میزان قابلیت جویدن را در روزهای اول و سوم پس از پخت داشتند. دو تیمار یاد شده حاوی مقادیر بالای آنزیم زایلاناز می‌باشند که این مطلب بیانگر اثر قابل ملاحظه این ماده در بهبود پارامتر قابلیت جویدن است. اثر مثبت آنزیم زایلاناز بر خصوصیات بافتی نان ازجمله قابلیت جویدن، به‌واسطه توزیع مجدد آب ازطریق پنتوزان‌ها به شبکه گلوتنی و محدود کردن تشکیل پیوندهای عرضی میان پروتئین‌های گلوتنی می‌باشد (Ghoshal *et al.*, 2013). مطابق با نتایج بدست آمده در این تحقیق، در پژوهشی که بث و همکاران (Both *et al.*, 2020) در خصوص اثر آنزیم زایلاناز بر خصوصیات بافتی نان تولید شده با آرد کامل گندم انجام دادند، کاهش قابل توجهی در پارامتر قابلیت جویدن نان مشاهده کردند.

$$\text{Chewiness 1} = +0.0044 - 0.0006 * A - 0.0003 * B - 0.0003 * C - 0.00003AB + 0.0005 * AC - 0.0008 * BC + 0.0004 * A^2 - 0.0003 * B^2 - 0.0002$$

(معادله-۳)

$$\text{Chewiness 3} = +0.0056 - 0.0002 * A - 0.0003 * B - 0.0003 * C - 0.0001AB + 0.0002 * BC - 0.0006 * B^2 - 0.0006 * c^2$$

(معادله-۴)

طبق نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها در جدول ۳ و معادلات ۵ و ۶ اثر آنزیم زایلاناز در روزهای اول و سوم بر پارامتر پیوستگی نان، کاهشی و معنی‌دار است (p<۰/۰۵). ضمن آنکه اثر مستقل قند سوربیتول در روز اول نیز بر این پارامتر منفی و معنی‌دار بود (p<۰/۰۰۱). اما با افزایش متقابل مقدار آنزیم زایلاناز و قند الکلی سوربیتول در روز سوم پس از پخت، بر طبق شکل ۱ مقدار پیوستگی نان به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (p<۰/۰۱).

پژوهش سارابهای و همکاران (Sarabhai *et al*., 2021) نیز نشان داد که افزودن آنزیم زایلاناز باعث کاهش قابل توجه در پارامتر پیوستگی نان تولید شده با آرد ارزن و آکالیفا، به خصوص در غلظت ۰/۱ درصد آنزیم می‌گردد. آن‌ها بیان داشتند که دیپلیمریزاسیون نشاسته و هیدرولیز گلوتن، مسئول ایجاد این تغییرات در نان است. درمقابل پژوهش شاه و همکاران (Shah *et al*., 2006) درخصوص اثر آنزیم زایلاناز مشاهده گردید که آنزیم زایلاناز باعث بهبود قابل ملاحظه‌ی پارامتر پیوستگی حاوی آرد کامل گندم می‌شود.

$$\text{Cohesiveness 1} = +0 \cdot 3148 + 0 \cdot 0013 * A - 0 \cdot 0048 * B - 0 \cdot 0108 * C + 0 \cdot 0085AC - 0 \cdot 0020BC - 0 \cdot 0148 * A^2 + 0 \cdot 0052\, B^2 + 0 \cdot 0034\, C^2$$

(معادله-۵)

$$\text{Cohesiveness 3} = +0 \cdot 2735 + 0 \cdot 0052 * A - 0 \cdot 0101 * B - 0 \cdot 0067 * C + 0 \cdot 0341 * AB - 0 \cdot 0164 * BC + 0 \cdot 0060\, B^2 - 0 \cdot 025 * C^2$$

(معادله-۶)

پارامتر الاستیسته نان در روز اول و سوم پس از پخت بنابر معادلات ۷ و ۸ و آنالیز داده‌ها در جدول ۳، در اثر افزودن امولسیفایر SSL و قند الکلی سوربیتول در حالت خطی، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (p<۰/۰۱). علاوه براین اثر خطی آنزیم زایلاناز نیز در روز سوم موجب کاهش بسیار معنی‌دار این پارامتر گردید (p<۰/۰۰۰۱). درضمن بنابر شکل ۱ با افزایش متقابل مقدار آنزیم زایلاناز و قند الکلی SSL، الاستیسته نان در روز سوم پس از پخت افزایش یافت (p<۰/۰۱).

جدول ۳- مقادیر معنی‌داری اجزاء معادله درجه دوم و پارامترهای آماری آن‌ها برای برای ویژگی‌های بافتی نان در روز اول و سوم پس از پخت

Table 3- The significant values of the components of the quadratic equation and their statistical parameters for the textural properties of bread on the first and third day after baking

Source منبع	Hardness (First day) سفتی (روز اول)	Hardness (Third day) سفتی (روز سوم)	Chewiness (First day) قابلیت جویدن (روز اول)	Chewiness (Third day) قابلیت جویدن (روزسوم)	Cohesiveness (First day) پیوستگی روز اول	Cohesiveness (Third day) پیوستگی روزسوم	Springiness (First day) الاستیسیته روز اول	Springiness (Third day) الاستیسیته روزسوم
P-Value (Model) (مدل)	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****
P-Value (A)	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	0.0034**	ns	ns	<0.0001****	<0.0001****
P-Value (B)	ns	0.0111*	0.0047**	0.0003*	0.241*	0.0179*	ns	0.0111*
P-Value (C)	ns	<0.0001****	0.0009***	ns	<0.0001****	ns	<0.0001****	<0.0001****
P-Value (AB)	0.0167*	ns	0.0112*	ns	ns	0.0001***	ns	ns
P-Value (AC)	0.0009***	0.0002***	0.0003***	ns	0.0045**	ns	ns	ns
P-Value (BC)	ns	0.0008***	<0.0001****	0.0319*	ns	0.0051**	ns	0.0082**
P-Value (A^2)	0.0433*	ns	0.0003***	ns	<0.0001****	ns	ns	ns
P-Value (B^2)	<0.0001****	0.0196*	0.0045**	<0.0001****	0.0138*	ns	0.0056**	0.0031**
P-Value (C^2)	ns	ns	0.0248*	<0.0001****	ns	0.0001***	ns	0.0123*
P-Value (Lack of Fit) (عدم برازش)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
R^2 ضریب تبیین	0.9309	0.9372	0.9618	0.9588	0.9158	0.9210	0.9588	0.9124
Adjusted-R^2 ضریب تبیین اصلاح	0.8806	0.9006	0.9274	0.9288	0.8545	0.8636	0.9288	0.8720
C.V. ضریب تغییرات	6.59	3.27	6.37	4.47	6.77	4.83	2	1.70

A, B, C, ns, *, **, *** and **** respectively indicate SSL emulsifier, xylanase enzyme, sugar alcohol sorbitol, non-significance, significance at levels ($p< 0.05$), ($p<0.01$), ($p<0.001$) and ($p<0.0001$).

A، B، C، ns، *، **، *** و **** به ترتیب نشان دهنده امولسیفایر SSL، آنزیم زایلاناز، قند الکلی سوربیتول، عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطوح (p<۰/۰۵)، (p<۰/۰۱)،(p<۰/۰۰۱) و(p<۰/۰۰۰۱) هستند.

جدول ٤- مقادیر معنی‌داری اجزاء معادله درجه دوم و پارامترهای آماری آن‌ها برای رطوبت پوسته و مغز نان، افت وزن و حجم مخصوص

Table 4- The significant values of the components of the quadratic equation and their statistical parameters for bread crust and crumb moisture, weight loss and specific volume

Source منبع	Moisture of crumb (First day) رطوبت مغز نان (روز اول)	Moisture of crumb (Third day) رطوبت مغز نان (روز سوم)	Moisture of Crust (First day) رطوبت پوسته نان (روز اول)	Moisture of crust (Third day) رطوبت پوسته نان (روز سوم)	Weight loss افت وزن	Specific volume وزن مخصوص
P-Value (Model) (مدل)	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****
P-Value (A)	ns	ns	0.0002***	<0.0001****	ns	0.0139*
P-Value (B)	<0.0001****	ns	0.0027**	ns	ns	<0.0001****
P-Value (C)	ns	<0.0001****	0.0010**	ns	<0.0001****	0.0004***
P-Value (AB)	0.0175*	ns	ns	ns	ns	<0.0001****
P-Value (AC)	0.0035**	0.0110*	ns	<0.0001****	0.0014**	0.0353*
P-Value (BC)	ns	0.0070**	ns	0.0383*	0.0053**	ns
P-Value (A^2)	ns	ns	0.0241*	ns	0.0259*	0.0009***
P-Value (B^2)	0.0001***	0.0002***	0.0010**	0.0299*	ns	<0.0001****
P-Value (C^2)	0.0007***	ns	0.0006*	0.0344*	0.0005***	ns
P-Value (Lack of Fit) (عدم برازش)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
R^2 ضریب تبیین	0.9158	0.9210	0.9125	0.9046	0.9286	0.9495
Adjusted-R^2 ضریب تبیین اصلاح شده	0.8545	0.8636	0.8510	0.8489	0.8644	0.9201
ضریب تغییرات						

A, B, C, ns, *, **, *** and **** respectively indicate SSL emulsifier, xylanase enzyme, sugar alcohol sorbitol, non-significance, significance at levels ($p< 0.05$), ($p<0.01$), ($p<0.001$) and ($p<0.0001$).

A، B، C، ns، *، **، *** و **** به ترتیب نشان دهنده امولسیفایر SSL، آنزیم زایلاناز، قند الکلی سوربیتول، عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطوح (p<۰/۰۵)، (p<۰/۰۱)، (p<۰/۰۰۱) و (p<۰/۰۰۰۱) هستند.

جدول ۵- مقادیر معنی‌داری اجزاء معادله درجه دوم و پارامترهای آماری آن‌ها برای رنگ تصویر و ویژگی‌های حفرات مغز نان

Table 5- Significant values of the components of the quadratic equation and their statistical parameters for the color of the bread image and the pores characteristics of bread crumb

Sourc منبع	Bread crust L^* پوسته L^*	Bread crust a^* پوسته نان a^*	Bread crust b^* پوسته نان b^*	Pore number تعداد حفرات مغز نان	Pore area fraction کسر سطح	Roundness گردی	Circularity مدور بودن	Solidity یکپارچگی
P-Value (Model) (مدل)	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****
P-Value (A)	<0.0001****	ns	ns	<0.0001****	0.0005***	0.0011**	0.0063**	0.0006***
P-Value (B)	<0.0001****	0.0003***	<0.0001****	ns	ns	0.0034**	ns	ns
P-Value (C)	0.0010**	0.0004***	0.0001***	0.0003***	ns	0.0293*	ns	ns
P-Value (AB)	0.0003***	ns	0.0012**	ns	0.0046**	<0.0001****	0.0010**	ns
P-Value (AC)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P-Value (BC)	ns	0.0081**	0.0051**	ns	ns	0.0284*	0.0023**	0.0011**
P-Value (A^2)	ns	0.0003***	0.002***	0.0119*	<0.0001****	0.0199*	<0.0001****	<0.0001****
P-Value (B^2)	0.0261*	<0.0001****	ns	0.0193*	ns	0.0057**	ns	ns
P-Value (C^2)	0.0121*	ns	0.0387*	ns	ns	ns	0.0002***	0.0002***
P-Value (Lack of Fit) (عدم برازش)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
R^2 ضریب تبیین	0.9451	0.9071	0.9392	0.9053	08965	0.9048	0.9063	0.9208
Adjusted-R^2 ضریب تبیین اصلاح شده	0.9052	0.8642	0.9038	0.8501	08361	0.8493	0.8516	0.8747
C.V. ضریب تغییرات	0.7597	3.11	3.42	9.01	9.46	3.40	0.7597	1.71

A, B, C, ns, *, **, *** and **** respectively indicate SSL emulsifier, xylanase enzyme, sugar alcohol sorbitol, non-significance, significance at levels ($p < 0.05$), ($p<0.01$), ($p<0.001$) and ($p<0.0001$).

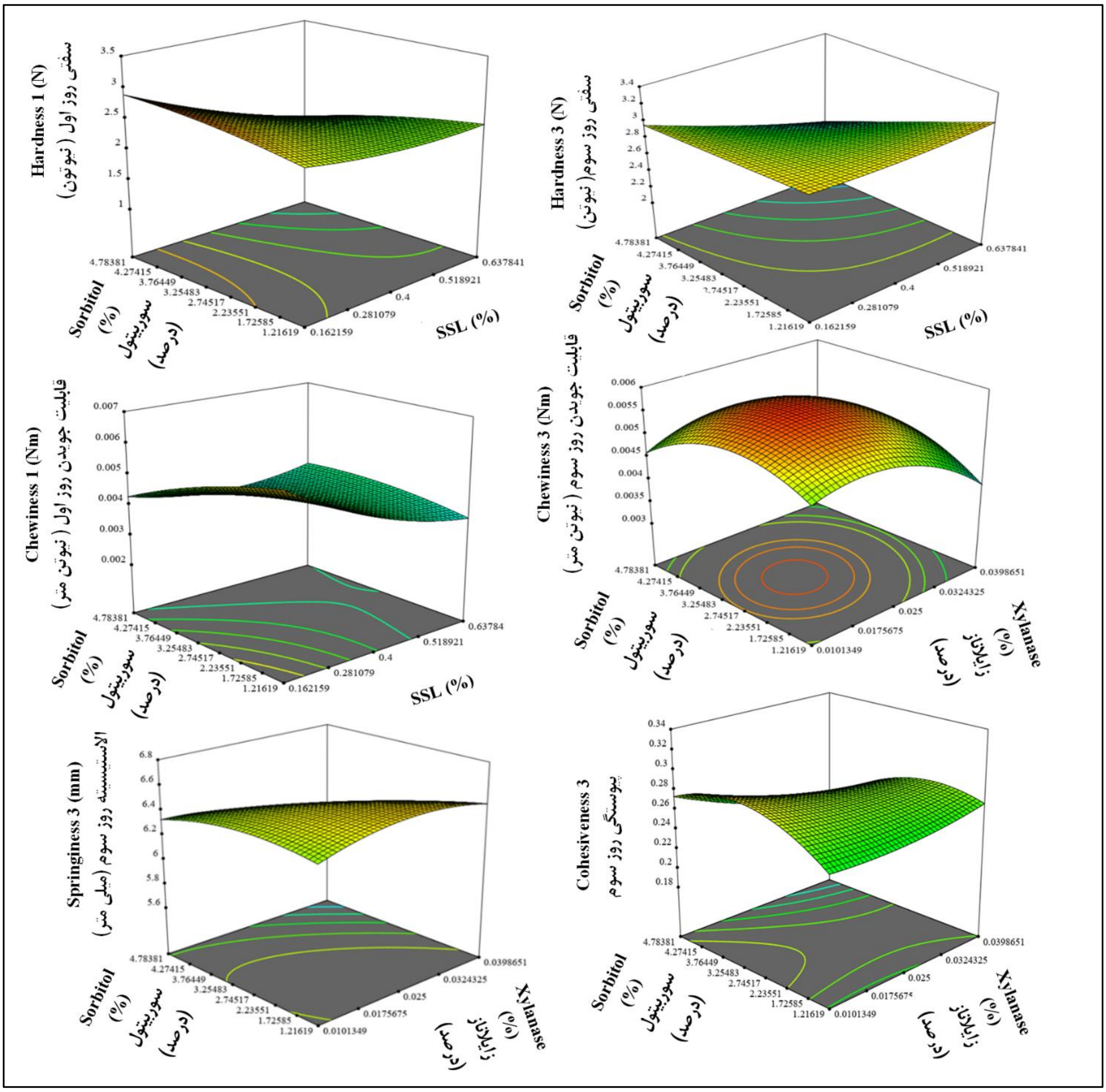
A، B، C،ns، *، **، *** و **** به ترتیب نشان دهنده امولسیفایر SSL، آنزیم زایلاناز، قند الکلی سوربیتول، عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطوح (p<۰/۰۵)، (p<۰/۰۱)،(p<۰/۰۰۱) و(p<۰/۰۰۰۱) هستند.

$$\text{Springiness 1} = +6.87 - 0.04294 * A + 0.0011 * B - 0.2035 * C + 0.0865AC - 0.1159 * B^2$$

(معادله-۷)

$$\text{Springiness 3} = +6.87 - 0.2391 * A - 0.0863 * B - 0.1599 * C - 0.1189BC - 0.1025 * B^2 - 0.0821C^2$$

(معادله-۸)



شکل ۱- اثر متقابل متغیرها برای ویژگی‌های بافتی نان در روز اول و سوم پس از پخت

Fig. 1- The interaction of variables for textural properties of bread on the first and third day after baking

به‌علاوه روند تغییرات الاستیسیته در روز سوم نسبت به روز اول کاهشی بود. تیمارهای شماره ۲ و ۱۷ که دارای مقادیر حداقل امولسیفایر SSL و قند الکلی سوربیتول و به‌ترتیب ۰/۰۱۰۱۳ درصد و ۰/۰۳۹۶۸ درصد آنزیم زایلاناز بودند، بالاترین میزان الاستیسیته را در روزهای اول و سوم داشتند.

آرابینوزایلان‌های محلول حاصل از تجزیه فرم نامحلول به‌وسیله آنزیم زایلاناز، کشش کمتری نسبت به جذب آب داشته و با افزایش جذب آب در شبکه گلوتن-نشاسته، باعث بهبود الاستیسیته نان می گردند (Ghoshal *et al.*, 2016). در پژوهش شاه و همکاران (Shah *et al.*, 2006) نیز مشخص شد که آنزیم زایلاناز تأثیر چندانی بر پارامتر الاستیسته نان حاصل از آرد کامل ندارد و حتی کاهش ناچیزی در الاستیسیته نان‌ها قابل مشاهده است.

اثر مواد بهبوددهنده بر حجم مخصوص نان

بنابر نتایج آنالیز داده‌ها در جدول ۴ و معادله ۹، هر سه ماده بهبوددهنده در حالت خطی دارای اثر مثبت معنی‌دار بر پارامتر حجم مخصوص نان بودند ($p<0.01$). مطابق با شکل ۲ در حالت متقابل نیز افزایش امولسیفایر SSL و آنزیم زایلاناز و همچنین متغیرهای امولسیفایر SSL و قند الکلی سوربیتول منجربه افزایش معنی‌دار این پارامتر گردید ($p<0.05$). مشابه با نتایج این پژوهش، محققان اثر مثبت هر سه ماده بهبوددهنده را در نان‌های غنی‌شده با فیبر و دیگر انواع نان‌ها مشاهده کرده‌اند. شونلشنر و همکاران (Schoenlechner *et al.*, 2013) بیان کردند که آنزیم زایلاناز باعث افزایش قابل توجه حجم نان حاوی نسبت برابر آرد ارزن و گندم گردیده است. ازجمله مکانیسم‌های تأثیرگذار بر افزایش حجم نان‌های غنی‌شده با فیبر در اثر افزودن آنزیم زایلاناز، تبدیل آرابینوزایلان‌های نامحلول به فرم محلول و تجزیه پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای به ساکاریدهای کوتاه زنجیره می‌باشد که به‌ترتیب موجب بهبود ظرفیت نگهداری گاز در خمیر و مداخله کمتر درتشکیل شبکه گلوتنی و افزایش حجم مخصوص می گردند(Altınel and Ünal, 2017a; Matsushita *et al.*, 2017)).

به‌علاوه دودو و همکاران (Dudu *et al.*, 2020) و آتالای و همکاران (Atalay *et al.*, 2013) دریافتند که امولسیفایر SSL از طریق جذب آب بالا در ماتریکس آرد، سبب تسهیل برقراری پیوندهای عرضی بیشتر میان پروتئین و نشاسته و تشکیل شبکه گلوتنی قوی‌تر با ظرفیت نگهداری گاز بالاتر و حجم بیشتر در نان حاوی آرد مخلوط کاساوا-گندم و نان غنی‌شده با سبوس گندم سیاه و آرد کامل گندم می‌گردد. ژو و همکاران (Zhou *et al.*, 2016) نیز بیان کردند که افزودن قند الکلی سوربیتول در مقادیر کمتر از ۸ درصد، ازطریق افزایش هیدراتاسیون شبکه گلوتنی و بهبود قابلیت نگهداری گاز در آن، باعث افزایش حجم مخصوص نان سفید گردید و اضافه کردن مقادیر بالاتر از ۸ درصد موجب کاهش استحکام و قدرت ور آمدن خمیر شد.

$$\text{Specific Volume} = +2.53 + 0.0348 * A + 0.1118 * B + 0.0591 * C - 0.1000 * AB + 0.0375 * AC + 0.0512 * A^2 + 0.0819 * B^2$$

(معادله-۹)

اثر مواد بهبوددهنده بر افت وزن نان

یکی از مهم‌ترین پدیده‌هایی که در طی فرآیند پخت نان اتفاق می- افتد، از دست رفتن رطوبت است. اگر در فرآیند پخت نان مقدار رطوبت زیادی از دست برود، فرآورده حاصل وزنی پایین‌تر از حد معمول خواهد داشت. در این پژوهش تیمارهای حاوی دارای کمترین افت وزن بودند. همانطور که در معادله ۱۰، جدول ۴ و شکل ۲ نشان داده شده است، اثر خطی قند الکلی سوربیتول بر افت وزن نان بسیار معنی‌دار و مثبت بود ($p<0.001$) و همچنین تقابل این ماده با امولسیفایر SSL حاکی از این امر بود که با افزایش مقدار امولسیفایر SSL و کاهش قند الکلی سوربیتول، مقدار افت وزن نان پس از پخت به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت ($p<0.05$). امولسیفایر SSL به‌واسطه ممانعت از هدر رفتن آب موجود در ساختار خمیر، موجب کاهش افت وزن نان می‌گردد (Lakshminarayan *et al.*, 2006). به‌طور مشابه با نتایج این پژوهش، لوپز-تنوریو و همکاران (López-Tenorio *et al.*, 2015) دریافتند که افزایش در میزان امولسیفایر SSL از ۰ تا ۱ درصد، باعث افزایش وزن نان‌ها بلافاصله پس از پخت می‌گردد که این امر مرتبط با ظرفیت جذب آب بالا در این امولسیفایر است. در پژوهشی بیشه و کائور (Bhise and Kaur, 2014) نیز دریافتند که افزودن قند الکلی سوربیتول در مقادیر کم (۲ درصد) به‌واسطه افزایش ظرفیت جذب آب خمیر، باعث افزایش وزن نان پس از پخت گردیده است.

$$\text{Weight Loss} = +17.53 - 0.3074 * A + 0.5605 * B + 2.43 * C + 0.5909 * AB + 1.87AC + 1.51 * BC + 0.8310A^2 - 0.5645B^2 - 1.60 * C^2$$

(معادله-۱۰)

اثر مواد بهبوددهنده بر رطوبت نان

محتوای رطوبت به‌طور مستقیم با پارامتر نرمی بافت نان ارتباط دارد. آنالیز داده‌ها در جدول ۴ و معادلات ۱۱ و ۱۲ نشان داد که اثر مستقل آنزیم زایلاناز بر رطوبت مغز نان در روز اول پس از پخت مثبت و بسیار معنی‌دار بود (p<۰/۰۰۰۱) و با افزایش مقادیر آنزیم زایلاناز، رطوبت مغز نان در روز اول پس از پخت، افزایش یافت. هماطور که در شکل ۲ نمایش داده شده است، اثر متقابل این آنزیم با امولسیفایر SSL نیز در روز اول مثبت و معنی‌دار بود (p<۰/۰۵). اما در روز سوم افزایش خطی قند الکلی سوربیتول باعث کاهش بسیار معنی‌دار رطوبت مغز نان گردید (p<۰/۰۰۰۱)، درحالی‌که اثر متقابل آنزیم زایلاناز با قند الکلی سوربیتول بر این پارامتر موجب افزایش معنی‌دار آن شد (p<۰/۰۱). بررسی محتوای رطوبت مغز نان‌ها در روز سوم نسبت به روز اول، نمایانگر روند کاهشی آن بود. نمونه شماره ۱۷ که دارای کمترین میزان قند الکلی سوربیتول و مقدار بالای آنزیم زایلاناز است، بالاترین میزان محتوای رطوبت در مغز نان در زمان ۳ روز پس از پخت داشت.

قند الکلی سوربیتول و امولسیفایر SSL به ترتیب در روز اول و سوم پس از پخت بنابر نتایج آنالیز داده‌ها در جدول ۴ و معادلات ۱۳ و ۱۴، به‌صورت مستقل باعث کاهش معنی‌دار رطوبت پوسته نان گردیدند (p<۰/۰۱). در روز سوم پس از پخت، تقابل امولسیفایر SSL و قند الکلی سوربیتول در روز سوم پس از پخت که در شکل ۲ نشان داده شده است، رطوبت پوسته نان را به‌صورت بسیار معنی‌داری کاهش داد (p<۰/۰۰۰۱). مقایسه رطوبت نمونه‌های نان در روز اول و سوم نشان داد که مقدار این کمیت نرخ افزایشی دارد. اما امولسیفایر SSL و قند الکلی سوربیتول نقش به‌سزایی در جلوگیری از مهاجرت رطوبت از مغز نان به پوسته دارند و تیمارهای شماره ۱۰ با دارا بودن مقادیر ۰/۸ درصد SSL و ۳ درصد سوربیتول و تیمار شماره ۴ که حاوی ۰/۶۳۷۸ درصد SSL و ۴/۷۸ درصد سوربیتول می‌باشند، دارای کمترین میزان رطوبت در پوسته نان در روز سوم بودند.

آنزیم زایلاناز ازطریق هیدرولیز همی‌سلولزها به اجزاء کوچکتر که دارای قابلیت نگهداری آب بالاتری هستند، باعث ممانعت از توزیع مجدد آب بین گلوتن و نشاسته و همچنین نگهداری آب در مغز نان و ممانعت از خروج آن می‌گردد (Ahmad *et al.*, 2014). مشابه با نتایج بدست آمده در این پژوهش در خصوص رطوبت مغز نان، تبن و همکاران (Tebben *et al.*, 2020) نیز پس از بررسی تأثیر ۵ آنزیم مختلف از جمله آنزیم زایلاناز را بررطوبت مغز نان حاصل از آرد کامل گندم دریافتند که محتوای رطوبت نان‌ها پس از افزودن آنزیم زایلاناز، افزایش یافت ولی تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین نمونه شاهد و نمونه حاوی آنزیم مشاهده نشد. وجود گروه‌های هیدروکسیل در ساختار قندهای الکلی که موجب ایجاد ظرفیت بالایی برای اتصال با مولکول های آب در آن‌ها می‌گردد، موجب جلوگیری از خروج آب در نمونه در طی مدت زمان نگهداری می‌شود (Ding and Yang, 2021). بنابراین کاهش محتوای رطوبت پوسته نان‌ها در اثر افزودن قند الکلی پس از ۳ روز زمان نگهداری را می‌توان به ظرفیت جذب آب بالا در این قندها و ممانعت از خروج آب از مغز نان به‌پوسته، نسبت داد. پورفرزاد و همکاران (Pourfarzad *et al.*, 2014) نیز دریافتند که امولسیفایر SSL با دارا بودن خاصیت آب دوستی، نسبت به سایر اجزاء نان توانایی برقراری پیوندهای قوی‌تری با مولکول‌های آب دارد و به‌واسطه ظرفیت نگهداری آب بالا، از خروج آب جلوگیری می‌کند.

$$\text{Crumb Moisture1} = +42.71 + 26.20 * A + 0.8990 * B - 0.0889 * C - 0.4959AB - 0.6576 * AC - 0.2665 * A^2 - 0.7470 * B^2 - 0.6184C^2$$

(معادله-۱۱)

$$\text{Crumb Moisture 3} = +0.4090 + 0.1423 * A + 0.0862 * B - 0.7489 * C + 0.3600 * AC - 0.03900 * BC + 0.1571A^2 - 0.4669B^2 - 0.1594 * C^2$$

(معادله-۱۲)

$$\text{Crust Moisture1} = +22.24 + 0.9390 * A + 0.6775 * B - 0.7822 * C + 0.03425 * AB + 0.1325 * BC - 0.4477 * A^2 + 0.7614 * B^2 - 0.8198 * C^2$$

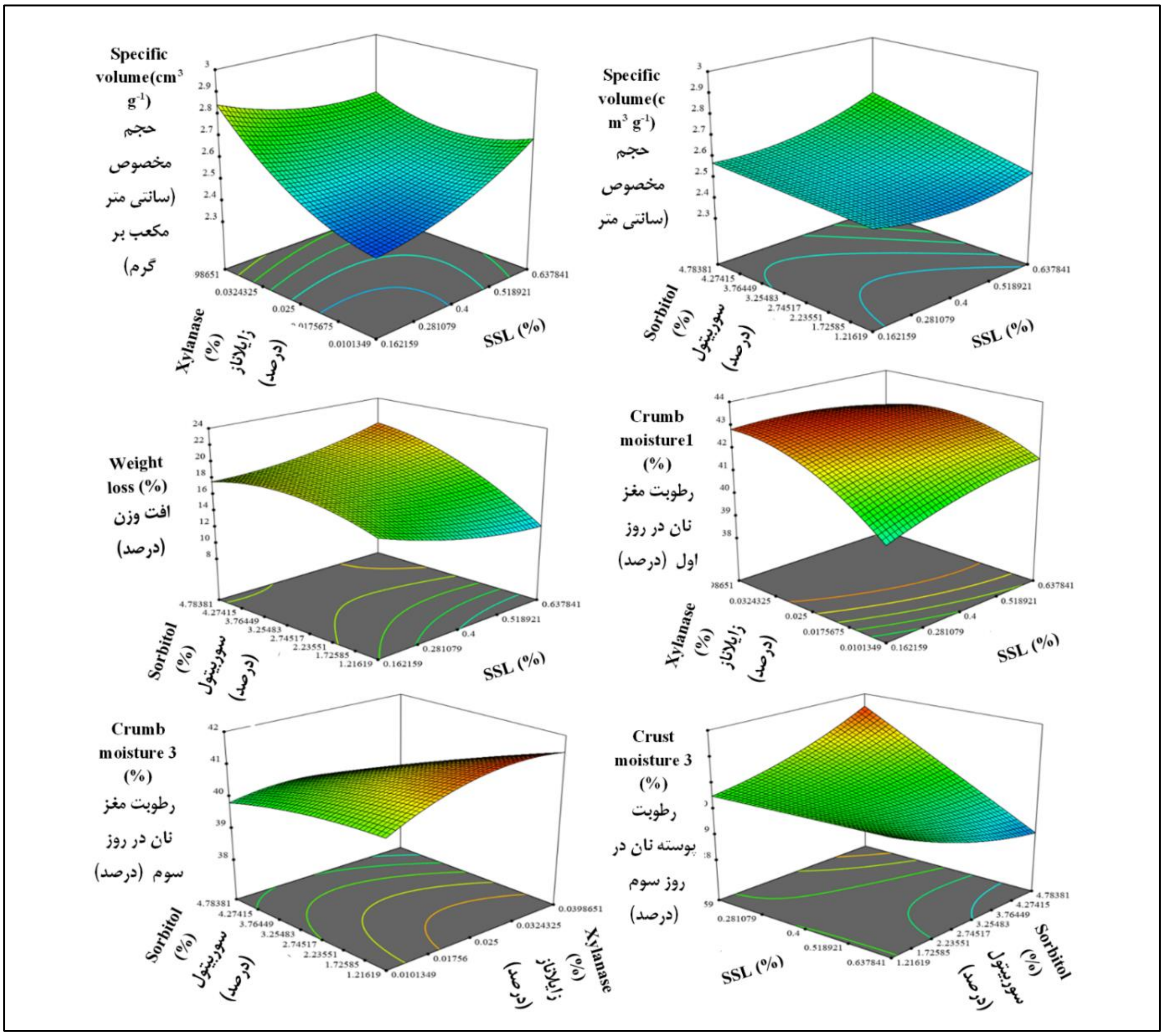
(معادله-۱۳)

$$\text{Crust Moisture3} = +30.31 - 0.8781 * A + 0.2257 * B - 0.0035 * C - 0.9825 * AC - 0.3625 * BC + 0.2842 * B^2 - 0.2755 * C^2$$

(معادله-۱۴)

اثر مواد بهبوددهنده بر پارامترهای رنگ پوسته نان

در این پژوهش رنگ پوسته نان، در فضای رنگ CIELAB مورد مطالعه قرار گرفت. پارامتر L^* محدوده روشنایی را از صفر (رنگ سفید) تا ۱۰۰ (رنگ سیاه) مشخص می کند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که وجود ذرات سبوس در نان باعث کاهش روشنایی در رنگ آن می‌گردد (Wijngaard and Arendt, 2006). نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها در جدول ۵، معادله ۱۵ و شکل ۳، بیانگر این نکته بود که افزایش آنزیم زایلاناز و امولسیفایر SSL در حالت مستقل و همچنین به‌صورت متقابل موجب افزایش معنی‌دار پارامتر روشنایی پوسته نان گردید، بررسی‌های گوشال و همکاران (Ghoshal *et al*., 2016) نشان داد که آنزیم زایلاناز باعث افزایش پارامتر L^* در پوسته نان حاوی آرد کامل گندم می‌شود. اما یافته‌های ماتسوشیتا و همکاران (Matsushita *et al*., 2017)) مغایر با این نتایج بود و با اضافه کردن آنزیم زایلاناز روشنایی پوسته نان به‌مقدار قابل توجهی کاهش یافت.



شکل ۲- اثر متقابل متغیرها بر پارامترهای حجم مخصوص، افت وزن و رطوبت پوسته و مغز نان

Fig. 2- The interaction effect of variables on the parameters of specific volume, weight loss and moisture of crust and crumb of bread

مقدار بالاتر پارامتر L^* در نان حاوی آنزیم زایلاناز ممکن است بواسطه توانایی این آنزیم در تبدیل آرابینوزایلان‌ها از فرم نامحلول به محلول و جذب آب آزاد شده از پنتوزان‌ها به‌وسیله شبکه گلوتنی باشد. این امر نشان می‌دهد که فرآورده‌های نانوایی با جذب آب بالاتر دارای پارامتر روشنایی بالاتری هستند (Niu *et al.*, 2017). امولسیفایر SSL نیز باتوجه به ظرفیت جذب آب بالا و افزایش جذب آب در خمیر، با رقیق سازی آمینواسیدها و قندها موجب افزایش پارامتر روشنایی پوسته نان غنی شده با لوپین و نان بربری گردید (Bilgiçli *et al.*, 2014; Pourfarzad *et al.*, 2012). اما درخصوص اثر قند الکلی سوربیتول نتایج بیشه و کائور (Bhise and Kaur, 2017) با نتایج این پژوهش تطابق نداشت و افزودن قند الکلی سوربیتول منجر به افزایش قابل توجه پارامتر روشنایی پوسته نان گردید که علت آن را عدم شرکت قندهای الکلی در واکنش مایلارد و برهمکنش با آمینواسیدها عنوان می‌کنند.

$$\text{Crust L}^* = +80.89 + 1.51 * A + 1.06 * B - 0.7404 * C - 1.14AB + 0.3084 * AC - 0.2759 * A^2 + 0.4180 * B^2 + 0.4881C^2$$

(معادله-۱۵)

در فضای CIELAB پارامتر a^* محدوده روشنایی را از ۶۰+ (رنگ قرمز) تا ۶۰ − (رنگ سبز) و پارامتر b^* محدوده روشنایی را از ۶۰+ (رنگ زرد) تا ۶۰ − (رنگ آبی) مشخص می کند. برطبق معادله ۱۶ و آنالیز داده‌ها در جدول ۵، اثر مستقل آنزیم زایلاناز بر پارامتر a^* رنگ پوسته نان کاهنده بود (p<۰/۰۱). ضمن آنکه افزایش قند الکلی سوربیتول موجب افزایش خطی معنی‌دار پارامتر a^* در پوسته نان گردید (p<۰/۰۱). اثر متقابل آنزیم زایلاناز و قند الکلی سوربیتول نیز بر پوسته نان که در شکل ۳ ارائه شده است، بر این پارامتر افزاینده بود (p<۰/۰۱). نتایج معادله ۱۷ و آنالیز داده‌ها در جدول ۵، حاکی از این مطلب بود که افزایش خطی آنزیم زایلاناز و قند الکلی سوربیتول موجب افزایش معنی‌دار پارامتر b^* در پوسته نان گردید (p<۰/۰۵). غنی‌سازی نان با ذرات سبوس گندم، منجربه کاهش رنگ زرد و ایجاد رنگ قرمز مایل به خاکستری در پوسته نان می‌شود (Ghoshal *et al.*, 2013). در این پژوهش افزودن آنزیم زایلاناز و قند الکلی سوربیتول با افزایش پارامتر b^* موجب افزایش زردی و همچنین آنزیم زایلاناز با کاهش پارامتر a^* منجربه کاهش قرمزی گردیدند که باعث بهبود کیفیت رنگ نان شد. مطالعات احمد (Ahmad, 2016)، در رابطه با اثر قند الکلی سوربیتول بر نان نتایج متفاوتی را نشان داد و کاهش قابل ملاحظه‌ای در پارامتر-های a^* و b^* با افزودن قند الکلی سوربیتول در پوسته نان بدون گلوتن مشاهده گردید. نتایج پژوهش گوشال و همکاران (Ghoshal *et al*,. 2016) و ماتسوشیتا و همکاران (Matsushita *et al*. 2017) حاکی از کاهش قابل ملاحظه در پارامترهای a^* و b^* پوسته نان تولید شده با آرد کامل در اثر افزودن آنزیم زایلاناز بود که در مورد پارامتر a^* با نتایج این پژوهش همخوانی داشت.

$$\text{Crust a}^* = -5.59 - 0.0041 * A - 0.2263 * B + 0.2225 * C - 0.1909 * BC - 0.2247A^2 - 0.2876 * B^2$$

(معادله-۱۶)

$$\text{Crust b}^* = +21.05 - 0.1712 * A - 1.80 * B + 1.08 * C - 1.06 * AB - 0.8537 * BC - 0.9545 * A^2 + 0.4304 * C^2$$

(معادله-۱۷)

اثر مواد بهبوددهنده بر ویژگی‌های حفرات مغز نان

در این مطالعه اثر مواد بهبوددهنده بر تعداد حفرات، کسر سطح حفرات، مدور بودن، گردی و یکپارچگی حفرات مغز نان مورد بررسی قرار گرفت. تعداد حفرات و کسر سطح حفرات مغز نان برطبق معادلات ۱۸ و ۱۹ و آنالیز داده‌ها که در جدول ۵ ارائه شده است، با افزایش خطی امولسیفایر SSL کاهش معنی‌داری یافت (p<۰/۰۰۱). لیکن تقابل امولسیفایر SSL با آنزیم زایلاناز که در شکل ۳ نمایش داده شده است، نشانگر افزایش معنی‌دار کسر سطح حفرات مغز نان می‌باشد (p<۰/۰۱). پورفرزاد و همکاران (Pourfarzad *et al.*, 2014) به نتایج مشابهی در رابطه با اثر مستقل منفی امولسیفایر SSL بر تخلخل نان بربری دست یافتند. اما مطالعه دودو و همکاران (Dudu *et al.*, 2020) درخصوص اثر افزودن امولسیفایر SSL به نان حاوی مخلوط آردکاساوا و گندم نتایج نشان داد که این بهبوددهنده باعث افزایش تعداد حفرات، تخلخل و سطح حفرات مغز نان گردید که این امر منطبق با جذب آب بالا به وسیله امولسیفایر SSL و بهبود خصوصیات مرتبط با پایداری خمیر و افزایش ظرفیت نگهداری گاز در آن می‌باشد.

$$Pore\ Area\ Fraction = +0.0484 - 0.0172 * A - 0.0054 * B + 0.0062 * C + 0.0165 * AB + 0.0040 * AC + 0.0269 * A^2 - 0.0059 * C^2$$
(معادله-۱۸)

$$Pore\ Number = +287.95 - 64.2 * A - 3.17 * B - 39.52 * C + 14.50AB - 18.75 * AC + 22.25 * A^2 + 20.30 * B^2$$
(معادله-۱۹)

پارامتر مدور بودن نشان‌دهنده این مطلب است که شکل یک حفره تا چه میزان به شکل دایره نزدیک است و اگر مقدار این پارامتر در حفرات تصویر یک باشد، آن حفرات دایره کامل هستند و در صورتی که مقدار صفر در این پارامتر نشان دهنده کشیدگی حفره است. اثر مستقل متغیر امولسیفایر SSL، بر ویژگی مدور بودن حفرات مغز نان بنابر نتایج آنالیز داده‌ها در جدول ۵ و معادله ۲۰، به‌صورت معنی‌داری مثبت بود (p<۰/۰۱) و افزایش این متغیر منجر به افزایش این ویژگی گردید. به‌علاوه اثر متقابل این امولسیفایر و آنزیم زایلاناز نیز سبب افزایش بسیار معنی‌دار (p<۰/۰۰۰۱) این ویژگی گردید که در شکل ۳ نشان داده شده است. در پژوهشی که در رابطه با افزودن صمغ دانه شاهی و زانتان بر نان انجام شد، ناجی-طبسی و محبی (Naji-Tabasi and Mohebbi, 2015) به این نتیجه دست یافتند که نانی که دارای ساختاری با حفرات دایره‌ای شکل است، پایداری مورفولوژیکی بالاتری دارد. بنابراین اثر مثبت امولسیفایر SSL بر پارامتر مدور بودن در این پژوهش، باعث افزایش پایداری ساختار حفرات مغز نان می‌گردد. به‌طور مشابه در پژوهش صورت گرفته در رابطه با اثر امولسیفایر SSL بر ساختار حفرات مغز نان بربری مشخص شد که افزودن امولسیفایر SSL تا میزان ۲ درصد باعث افزایش پارامتر مدوربودن حفرات مغز نان می‌گردد (Pourfarzad *et al.*, 2012).

$$Circularity = +0.3743 + 0.0193 * A - 0.0080 * B + 0.0019 * C - 0.0332AB - 0.0294 * BC - 0.0398 * A^2 - 0.0291 * C^2$$
(معادله-۲۰)

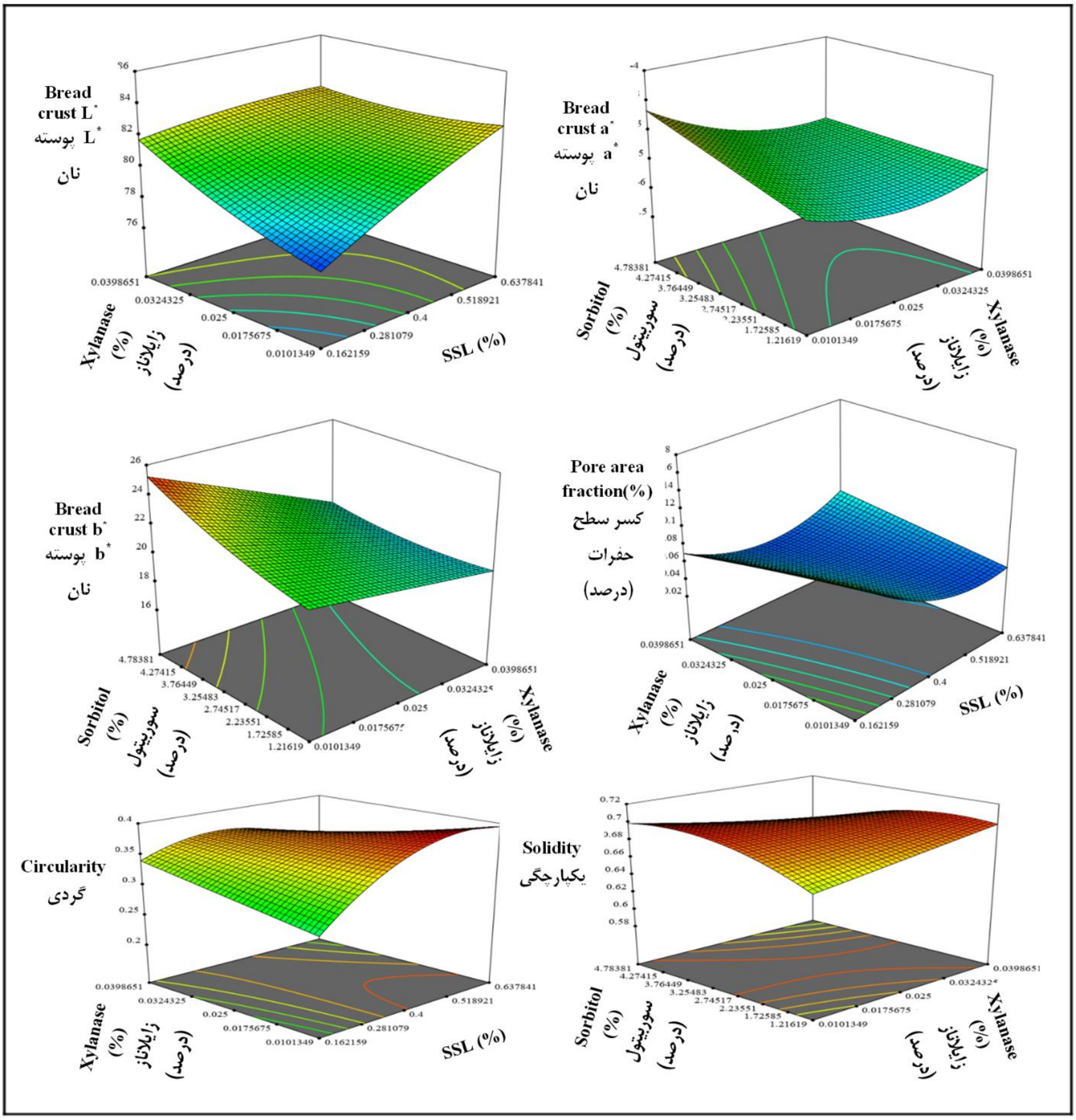
پارامتر گردی نشان می‌دهد که شکل یک حفره تا چه میزان متفاوت از شکل یک دایره است و حفرات گرد دارای مقدار گردی برابر با عدد یک هستند. برطبق معادله ۲۱ و آنالیز داده‌ها در جدول ۵، افزایش متغیر قند الکلی سوربیتول منجربه افزایش معنی‌دار ویژگی گردی حفرات مغز نان شد (p<۰/۰۵). اما افزایش امولسیفایر SSL و آنزیم زایلاناز باعث کاهش معنی‌دار این ویژگی گردید (p<۰/۰۱). مشابه با پارامتر مدور بودن، هرچه یک حفره گردتر باشد، بافت نان دارای ساختار مورفولوژیکی پایدارتری است (Naji-Tabasi and Mohebbi, 2015). بنابراین در این پژوهش با افزایش میزان قند الکلی سوربیتول در فرمولاسیون نان غنی شده با سبوس، ساختار مورفولوژیکی نان بهبود می‌یابد. پارامتر یکپارچگی نشان دهنده ثبات و پایداری بافت مغزنان است. زمانی که مقدار پارامتر یکپارچگی برابر با عدد ۱ است، نشان دهنده آن است که حفرات به شکل جامد می‌باشند و مقادیر کمتر از یک نشانگر یک شکل غیرمعمول در حفرات است. براساس معادله ۲۲ و داده‌ها در جدول ۵، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش مقادیر امولسیفایر SSL باعث افزایش معنی‌دار ویژگی یکپارچگی حفرات مغز نان گردید (p<۰/۰۰۱). ضمناً همانطور که در شکل ۳ قابل مشاهده است، تقابل امولسیفایر SSL و قند الکلی سوربیتول مقادیر این ویژگی را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد (p<۰/۰۱). مطابق با نتایج به دست آمده در این پژوهش در رابطه با اثر مثبت خطی امولسیفایر SSL بر پارامتر یکپارچگی حفرات مغزنان، پژوهش محققان نشان داد که افزودن هیدروکلوئید به نان باعث شکل‌گیری حفراتی با شکل معمول‌تر و پارامتر یکپارچگی بالاتر می‌گردد (Naji-Tabasi and Mohebbi 2015).

بهینه‌سازی

در نرم افزار دیزاین اکسپرت می‌توان بهینه‌سازی را در راستای رساندن یک پاسخ یا ترکیبی از دو یا چند پاسخ به یک میزان مشخص، حداقل یا حداکثر انجام داد. در این پژوهش نیز هدف دست یابی به ترکیب بهینه‌ای از مواد بهبوددهنده در راستای دست یابی به حداقل مقدار سفتی مغز نان و حداکثر میزان پیوستگی، حجم مخصوص، رطوبت مغز نان، پارامترهای روشنایی رنگ پوسته و یکپارچگی حفرات مغز نان بود. درصد بهینه مواد بهبود دهنده به‌وسیله نرم‌افزار دیزاین اکسپرت، با میزان مطلوبیت ۰/۷۰۴ به‌ترتیب برای امولسیفایر SSL، آنزیم زایلاناز و قند الکلی سوربیتول ۰/۵۶۳، ۰/۰۴۰ و ۲/۳۵۶ به‌دست آمد.

$$Roundness = +0.3693 - 0.1435 * A - 0.1221 * B + 0.0831 * C - 0.0130 * AB + 0.3202 * AB + 0.1093 * BC + 0.0874 * A^2 - 0.1093 * B^2$$

(معادله-۲۱)



شکل ۳- اثر متقابل متغیرها برای رنگ تصویر و ویژگی‌های حفرات مغز نان

Fig. 3- The interaction effect of variables for the color of the bread image and the pore characteristics of bread crumb

$$\text{Solidity} = +69.69 + 0.0143 * A - 0.0018 * B - 0.0014 * C - 0.0063AC - 0.0171 * BC - 0.0262 * A^2 - 0.0158 * C^2$$

(معادله-۲۲)

ارزیابی خصوصیات حرارتی نمونه بهینه و شاهد

همانطور که در جدول ۶ نشان داده شده است، دمای اولیه ژلاتیناسیون در روز اول پس از پخت به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر از نمونه شاهد است (p<۰/۰۵). آنتالپی ژلاتیناسیون نیز در روز اول و سوم پس از پخت در نمونه بهینه به طور قابل توجه‌ای در مقایسه با نمونه‌ی شاهد پایین‌تر می‌باشد (p<۰/۰۵). محققان دریافتند که افزودن آنزیم زایلاناز با کاهش نرخ تشکیل و توسعه ساختارهای کریستالی و درنتیجه فرآیند کریستالیزاسیون نشاسته، موجب کم شدن آنتالپی ژلاتیناسیون در نان حجیم حاوی آرد کامل گندم می‌گردد (Ghoshal *et al*., 2017). همچنین قندهای الکلی همچون سوربیتول قادرند که میان زنجیره‌های نشاسته در نواحی آمورف پیوندهای هیدروژنی برقرار کنند و از این طریق باعث محدود کردن تورم نشاسته و افزایش دمای ژلاتیناسیون گردند (Ding and Yang, 2021). مطالعه پژوهشگران در مورد اثر امولسیفایر SSL بر خصوصیات گرمایی نشاسته نشان داد که امولسیفایر SSL باعث کاهش مقادیر آنتالپی در طی فرآیند ژلاتیناسیون می‌گردد. کاهش آنتالپی ژلاتیناسیون به‌وسیله امولسیفایر مرتبط با برهمکنش میان بخش هیدروفوب امولسیفایر و مارپیچ آمیلوز در مولکول نشاسته است. همچنین این امر می‌تواند بنا به برقراری پیوند بین بخش هیدروفیل امولسیفایر با آمیلوپکتین به‌واسطه‌ی پیوند هیدروژنی باشد. درنتیجه برقراری این پیوندها آب در دسترس گرانول های نشاسته کم می‌گردد که باعث کاهش آنتالپی ژلاتیناسیون می‌شود (Gómez *et al*., 2013).

جدول ٦- خصوصیات حرارتی نمونه بهینه و شاهد (میانگین± انحراف معیار)

Table 6- Thermal properties of optimal and control samples (mean ± standard deviation)

Samples نمونه‌ها	Initial gelatinization temperature on the first day (°C) دمای اولیه ژلاتیناسیون در روز اول	Gelatinization peak temperature on the first day (°C) دمای پیک ژلاتیناسیون در روز اول	Gelatinization enthalpy on the first day (J g^{-1}) آنتالپی ژلاتیناسیون در روز اول	Initial gelatinization temperature on the third day (°C) دمای اولیه ژلاتیناسیون در روز سوم	Gelatinization peak temperature on the third day (°C) دمای پیک ژلاتیناسیون در روز سوم	Gelatinization enthalpy on the third day (J g^{-1}) آنتالپی ژلاتیناسیون در روز سوم
Optimal sample نمونه بهینه	81.22±3.035^{b}	101.34±3^{a}	58.10±3.005^{a}	66.10±3.02^{a}	101.33±3.05^{a}	113.16±3.01^{a}
Control sample نمونه شاهد	71.16±3.01^{a}	98.26±3.035^{a}	163.26±3.035^{b}	64±3^{a}	96±3^{a}	211.33±3.51^{b}

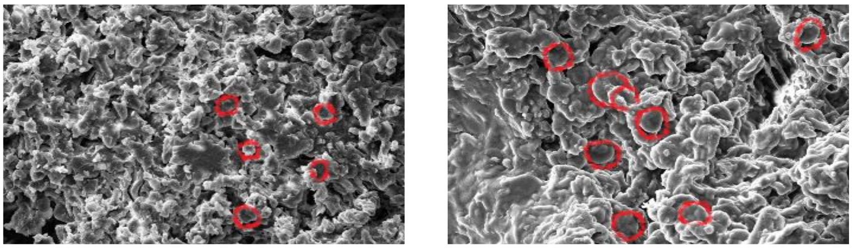
وجود اعداد با حروف یکسان در هر ستون نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین دو نمونه است (p<۰/۰۵).

The presence of numbers with the same letters in each column indicates that there is no significant difference between the two samples ($p < 0.05$).

ارزیابی تصاویر SEM بافت مغز نان نمونه بهینه و نان شاهد

ارزیابی تصاویر حاصل از شکل ۴ نشان می‌دهد که نان بهینه دارای شبکه گلوتنی متراکم‌تری نسبت به نمونه شاهد است و میان اجزاء شبکه گلوتنی برهمکنش‌های بیشتری مشاهده می‌شود. اما در نان شاهد (نمونه فاقد مواد بهبوددهنده) شبکه گلوتنی دارای پیوستگی کم‌تری است و گرانول‌های نشاسته موجود در آن تورم بیشتری نسبت به نمونه بهینه دارند که باتوجه به نتایج آزمون DSC، می‌توان گفت که مقادیر بیشتر نشاسته در دسترس و تورم بیشتر آن‌ها موجب افزایش ژلاتیناسیون و در نتیجه رتروگراداسیون بیشتر در نان شاهد می‌گردد. امولسیفایر SSL ازطریق ایجاد برهمکنش با آمیلوز در گرانول‌های نشاسته و برقراری پیوند با شبکه گلوتنی باعث افزایش برهمکنش

نشاسته-پروتئین، توسعه ساختاری فشرده‌تر در بافت محصول گردیده است (Van Steertegem *et al*., 2013). همچنین امولسیفایر SSL و قند الکلی سوربیتول می‌توانند ازطریق برقرای پیوند با مولکول‌های نشاسته و تغییر خصوصیات جذب اب در گرانول‌های نشاسته، باعث کاهش تورم در آن‌ها گردند (Ding *et al*., 2019). آنزیم زایلاناز نیز باعث ایجاد شبکه گلوتنی غیرمنقطع می‌شود که گرانول‌های نشاسته را به شکل بهتری در خود محصور ساخته است (Ghoshal *et al*., 2017).



شکل ٤- تصاویر SEM نمونه‌های بهینه و شاهد به‌ترتیب از چپ به راست

(دایره‌های قرمز نشان دهنده گرانول‌های نشاسته هستند).

Fig. 4- SEM images of optimal and control samples from left to right respectively

(Red circles represent starch granules).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به‌منظور تولید نانی با خواص تغذیه‌ای و کیفیت مطلوب، به بررسی تأثیر ترکیب مواد بهبوددهنده امولسیفایر SSL، آنزیم زایلاناز و قند الکلی سوربیتول بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، تکنولوژیکی نان قالبی غنی شده با ۱۵ درصد سبوس فرآوری شده گندم و نهایتاً خواص حرارتی و ریزساختار نمونه بهینه با استفاده از روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر پرداختیم. نتایج آزمایشات نشان داد که سفتی مغز نان تحت تأثیر امولسیفایر SSL و قند الکلی سوربیتول و قابلیت جویدن با افزودن امولسیفایر SSL و آنزیم زایلاناز، به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. هر سه ماده بهبوددهنده موجب افزایش معنی‌دار حجم مخصوص نان گردیدند. ویژگی‌های مرتبط با حفرات مغز نان همچون یکپارچگی و مدور بودن در اثر افزودن امولسیفایر SSL و ویژگی گردی با اضافه کردن قند الکلی سوربیتول به‌طور معنی‌داری بهبود یافتند. روشنایی پوسته نان نیز بوسیله امولسیفایر SSL و آنزیم زایلاناز به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. آنزیم زایلاناز و دو ماده قند الکلی و امولسیفایر SSL نیز به‌ترتیب باعث بهبود معنی‌دار رطوبت مغز و پوسته نان گردید. به‌علاوه اثر متقابل امولسیفایر SSL و قند الکلی سوربیتول بر پارامترهای قابلیت جویدن نان در روز اول پس از پخت، حجم مخصوص و پکپارچگی مغز نان و همچنین اثر متقابل آنزیم زایلاناز و امولسیفایر SSL بر پارامترهای حجم مخصوص، قابلیت جویدن در روز سوم، رطوبت مغز نان در روز اول پس از پخت، روشنایی پوسته، کسر سطح حفرات و مدور بودن مغز نانو اثر متقابل آنزیم زایلاناز و قند الکلی سوربیتول بر پارامتر پیوستگی در روز سوم پس از پخت به‌میزان قابل ملاحظه‌ای موجب بهبود این پارامترها گردید که این مطلب نشان دهنده اثر هم‌افزای این سه ماده بهبوددهنده در بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی و تکنولوژیکی نان می‌باشد.

درنهایت نمونه بهینه و شاهد ازنظر خصوصیات حرارتی و ریزساختار نان مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج آزمون DSC حاکی از کاهش قابل توجه مقادیر آنتالپی در روز اول و سوم پس از پخت و افزایش دمای اولیه واکنش در نمونه بهینه نسبت به نمونه شاهد بود. همچنین آنالیز تصاویر SEM نشان‌دهنده وجود گرانول‌های نشاسته در دسترس با تورم بیشتر در نمونه شاهد بود، اما در ریزساختار نمونه بهینه متراکم‌تر و میزان گرانول‌های نشاسته در دسترس و تورم آن‌ها کمتر بود. امولسیفایر SSL ازطریق برهمکنش با بخش‌های آمیلوز و آمیلوپکتین در گرانول های نشاسته، قند الکلی سوربیتول به‌واسطه برقراری برهمکنش با مولکول‌های آب احاطه کننده زنجیره‌های نشاسته و یا برقراری پیوند میان زنجیره‌های نشاسته در نواحی آمورف و آنزیم زایلاناز بنابر کاهش نرخ تشکیل ساختارهای کریستالی می‌توانند به‌صورت هم‌افزایی موجب کاهش ژلاتیناسیون گرانول‌های نشاسته، آنتالپی و در نتیجه فرآیند رتروگراداسیون آمیلوپکتین و بیاتی نان گردند. درنتیجه نمونه‌ای بهینه با خواص تغذیه‌ای و کیفیت مناسب بدست آمد.

منابع

1. AACC, I. (2000). *Approved Methods of the AACC*. Association of Cereal Chemists, St. Paul.
2. Ahmad, A. (2016). *Optimization of gluten free bread formulation by adding xanthan gum, Potato starch and sorbitol using response surface methodology*. Pp. 607–15 in The National Conference for Postgraduate Research.

3. AOAC. (2000). *Methods of Analysis of AOAC International.* AOAC INTERNATIONAL, Maryland, USA(2003).
4. Burak, A., & Sezgin Ünal, S. (2017a). The effects of amyloglucosidase, glucose oxidase and hemicellulase utilization on the rheological behaviour of dough and quality characteristics of bread. *International Journal of Food Engineering*, *13*(2). https://doi.org/10.1515/ijfe-2016-0066.
5. Burak, A., & Sezgin Ünal, S. (2017b). The effects of certain enzymes on the rheology of dough and the quality characteristics of bread prepared from wheat meal. *Journal of Food Science and Technology*, *54*(6), 1628–37. http://doi.org/10.1007/s13197-017-2594-8.
6. Bakke, A., & Vickers, Z. (2007). Consumer liking of refined and whole wheat breads. *Journal of Food Science*, *72*(7), 473–80. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00440.x
7. Suresh, B., & Kaur, A. (2014). Baking quality, sensory properties and shelf life of bread with Polyols. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(9), 2054–61. https://doi.org/10.1007/s13197-014-1256-3.
8. Suresh, B., & Kaur, A. (2017). Synergistic effect of polyols and fibres on baking, sensory and textural quality of bread with improved shelf life. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *6*(11), 1–12. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.001
9. Bilgiçli, N., Demir, M.K., & Yilmaz, C. (2014). Influence of some additives on dough and bread properties of a wheat-lupin flour blend. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, *6*(2), 167–73. https://doi.org/10.3920/QAS2012.0193
10. Borges, V.C., & Salas-Mellado, M.M. (2016). Influence of α-amilase, trehalose, sorbitol, and polysorbate 80 on the quality of gluten-free bread. *International Food Research Journal*, *23*(5), 1973–79.
11. Both, J., Biduski, B., Gómez, M., Elita Bertolin, T., Tereza Friedrich, M., & Carlos Gutkoski, L. (2020). Micronized whole wheat flour and xylanase application: dough properties and bread quality. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(10), 3902–12. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04851-2
12. Colakoglu, Abdullah S., & Hazim, Ö. (2012). Potential use of exogenous lipases for DATEM replacement to modify the rheological and thermal properties of wheat flour dough. *Journal of Cereal Science*, *55*(3), 397–404. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.02.001
13. Ding, Sh., Peng, B., Li, Y., & Yang, J. (2019). Evaluation of specific volume, texture, thermal features, water mobility, and inhibitory effect of staling in wheat bread affected by maltitol. *Food Chemistry*, *283*, 123–30. https:/doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.045
14. Ding, Sh., & Yang, J. (2021). The effects of sugar alcohols on rheological properties, functionalities, and texture in baked products – A review. *Trends in Food Science and Technology*, *111*(March), 670–79. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.009
15. Dost, K., & Tokul, O. (2006). Determination of phytic acid in wheat and wheat products by reverse phase high performance liquid chromatography. *Analytica Chimica Acta*, *558*(1–2), 22–27. https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.11.035
16. Driss, D., Bhiri, F., Siela, M., Bessess, S., Chaabouni, S., & Ghorbel, R. (2013). Improvement of breadmaking quality by xylanase GH11 from *Penicillium occitanis* Pol6. *Journal of Texture Studies*, *44*(1), 75–84. https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2012.00367.x
17. Dudu, Olayemi E., Ying Ma, Aminat Adelekan, Ajibola B. Oyedeji, Samson A. Oyeyinka, & Jessica W. Ogungbemi. (2020). Bread-making potential of heat-moisture treated cassava flour-additive complexes. *Lwt*, *130*(April), 109477. https://doi.org/ 10.1016/j.lwt.2020.109477
18. Eduardo, M., Svanberg, U., & Ahrné, L. (2016). Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the shelf-life of composite cassava-maize-wheat bread after storage. *Food Science and Nutrition*, *4*(4), 636–44. https://doi.org/10.1002/fsn3.326.
19. Ferng, L., Liou, Ch., Yeh, R., & Hsin, Sh. (2015). Food hydrocolloids physicochemical property and glycemic response of chiffon cakes with different rice Fl Ours. *Food Hydrocolloids*, *53*, 172–79. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.020
20. Ghoshal, G., Shivhare, U.S., & Banerjee, U.C. (2013). Effect of xylanase on quality attributes of whole-wheat bread. *Journal of Food Quality*, *36*(3), 172–80. https://doi.org/10.1111/jfq.12034
21. Ghoshal, G., Shivhare, U.S., & Banerjee, U.C. (2016). Thermo-mechanical and micro-structural properties of xylanase containing whole wheat bread. *Food Science and Human Wellness*, *5*(4), 219–29. https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.09.001
22. Ghoshal, G., Shivhare, U.S., & Banerjee, U.C. (2017). Rheological properties and microstructure of xylanase containing whole wheat bread dough. *Journal of Food Science and Technology*, *54*(7), 1928–37. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2627-3
23. Gomes, R., Rodrigues, C., Henrique da Cunha, R., Lopes Almeida, E., Kil Chang, Y., & Joy Steel, C. (2012). Effect of the emulsifier sodium stearoyl lactylate and of the enzyme maltogenic amylase on the quality of pan bread during

storage." *LWT - Food Science and Technology, 49*(1), 96–101. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.04.014
24. Gómez, Analía V., Buchner, D., C. Tadini, C., C. Añón, M., & C. Puppo, M. (2013). Emulsifiers: effects on quality of fibre-enriched wheat bread. *Food and Bioprocess Technology, 6*(5), 1228–39. https://doi.org/10.1007/s11947-011-0772-7
25. Gonzalez, Rafael C., & Richard E. Woods. (2008). *Digital Image Processing Third Edition Pearson*.
26. Grausgruber, H., Miesenberger, S., Schoenlechner, R., & Vollmann, J. (2008). Influence of dough improvers on whole-grain bread quality of einkorn wheat. *Acta Alimentaria, 37*(3), 379–90. https://doi.org/10.1556/AAlim.2008.0009
27. Hemery, Y., Rouau, X., Lullien-Pellerin, V., Barron, C., & Abecassis, J. (2007). Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. *Journal of Cereal Science, 46*(3), 327–47. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.09.008
28. Leandra Zafalon, J., Batista da Silva, C., Joy Steel, C., & Kil Chang, Y. (2012). Influence of xylanase addition on the characteristics of loaf bread prepared with white flour or whole grain wheat flour. *Food Science and Technology, 32*(4), 844–49. https://doi.org/10.1590/s0101-20612012005000116
29. Jiang, Y., Yimeng Zh., Yifan Zh., Sizhou Q., Yun D., & Yanyun, Zh. (2019). Effect of dietary fiber-rich fractions on texture, thermal, water distribution, and gluten properties of frozen dough during storage. *Food Chemistry, 297*(January), 124902. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.176
30. Kassem, Mohammed A., & Alaa S.A. (2013). Spectrophotometric determination of iron in environmental and food samples using solid phase extraction. *Food Chemistry, 141*(3), 1941–46. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.038
31. Khalid, Khairunizah H., Jae-bom, O., & Simsek, S. (2017). Whole wheat bread: effect of bran fractions on dough and end-product quality. *Journal of Cereal Science, 78*, 48–56. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.03.011
32. Kiumarsi, M., Shahbazi, M., Yeganehzad, S., Majchrzak, D., Lieleg, O., & Winkeljann, B. (2019). Relation between structural, mechanical and sensory properties of gluten-free bread as affected by modified dietary fibers. *Food Chemistry*, 277, 664–73. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.015
33. Kumar, V., Amit K. Sinha, Harinder P. S. Makkar, & Becker, K. (2010). Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: A review. *Food Chemistry, 120*(4), 945–59. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.052APA
34. Lakshminarayan, Sudha M., Rathinam, V., & KrishnaRau, L. (2006). Effect of maltodextrin and emulsifiers on the viscosity of cake batter and on the quality of cakes. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 86*(5), 706–12. https://doi.org/10.1002/jsfa.2400
35. Liu, W., Anne Brennan, M., Serventi, L., & Stephen Brennan, Ch. (2017). Effect of cellulase, xylanase and α-amylase combinations on the rheological properties of Chinese steamed bread dough enriched in wheat bran. *Food Chemistry, 234*, 93–102. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.160
36. López-Tenorio, Julián Alfredo, Eduardo Rodríguez-Sandoval, & Uriel Sepúlveda-Valencia, J. (2015). The influence of different emulsifiers on the physical and textural characteristics of gluten-free cheese bread. *Journal of Texture Studies, 46*(4), 227–39. https://doi.org/10.1111/jtxs.12121
37. Mahmut Hayali, A., Bilgiçli, N., Elgün, A., & Kürşat Demir, M. (2013). Effects of buckwheat (*Fagopyrum Esculentum* Moench) milling products, transglutaminase and sodium stearoyl-2-lactylate on bread properties. *Journal of Food Processing and Preservation, 37*(1), 1–9. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00607.x
38. Matsushita, K., Marvin Santiago, D., Noda, T., Tsuboi, K., Kawakami, S., & Yamauchi, H. (2017). The bread making qualities of bread dough supplemented with whole wheat flour and treated with enzymes. *Food Science and Technology Research, 23*(3), 403–10. https://doi.org/10.3136/fstr.23.403
39. Mudgil, D., Barak, Sh., & Khatkar, B.S. (2016). Optimization of textural properties of noodles with soluble fiber, dough mixing time and different water levels. *Journal of Cereal Science, 69*(5), 104–10. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.02.015
40. Naji-Tabasi, S., & Mohebbi, M. (2015). Evaluation of cress seed gum and xanthan gum effect on macrostructure properties of gluten-free bread by image processing. *Journal of Food Measurement and Characterization, 9*(1), 110–19. https://doi.org/10.1007/s11694-014-9216-1
41. Niu, Meng, G. Hou, G., Kindelspire, J., Krishnan, P., & Zhao, S. (2017). Microstructural, textural, and sensory properties of whole-wheat noodle modified by enzymes and emulsifiers. *Food Chemistry, 223*, 16–24. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.021
42. Noort, M., Daan van Haaster, W.J., Hemery, Y., A. Schols, H., & J. Hamer, R. (2010). The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality–evidence for fibre–protein interactions. *Journal of Cereal Science, 52*(1), 59–64. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.03.003.
43. Phimolsiripol, Y., Siripatrawan, U., Tulyathan, V., & J. Cleland, D. (2008). Effects of freezing and temperature fluctuations during frozen storage on frozen dough and bread quality. *Journal of Food Engineering, 84*(1), 48–56.

https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.016
44. Pourfarzad, A., Ahmadian, Z., & Tavassoli-Kafrani, M.H. (2019). The effect of sodium stearoyl lactylate on structural changes of wheat gluten in a model system fortified with inulin: Investigation with fourier transform infrared spectroscopy. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, *17*(December 2018), 100175. https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2018.12.001
45. Pourfarzad, A., Hosseini, M., & Khodaparast, H. (2014). Optimization of a Noveli mprover gel formulation for barbari flat bread using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(10), 2344–56. https://doi.org/10.1007/s13197-012-0778-9
46. Pourfarzad, A., Haddad Khodaparast, M.H., Karimi, M., Mortazavi, S.A., Ghiafeh Davoodi, M., Hematian Sourki, A., & Razavizadegan Jahromi, S.H. (2011). Effect of polyols on shelf-life and quality of flat bread fortified with soy flour. *Journal of Food Process Engineering*, *34*(5), 1435–48. https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2009.00541.x
47. Pourfarzad, A., Mohebbi, M., & Mazaheri-Tehrani, M. (2012). Interrelationship between image, dough and barbari bread characteristics; use of image analysis to predict rheology, quality and shelf life. *International Journal of Food Science and Technology, 47*(7), 1354–60. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.2980.x
48. Purhagen Jeanette, K., Malin Sjöö, E., & Eliasson, A. (2011). Food hydrocolloids starch affecting anti-staling agents and their function in freestanding and pan-baked bread. *Food Hydrocolloids*, *25*(7), 1656–66. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.03.004
49. Sarabhai, S., Tamilselvan, T., & Prabhasankar, P. (2021). Role of enzymes for improvement in gluten-free foxtail millet bread: It's effect on quality, textural, rheological and pasting properties." *Lwt*, *137*, 110365. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110365
50. Schoenlechner, R., Szatmari, M., Bagdi, A., & Tömösközi, S. (2013). Optimisation of bread quality produced from wheat and proso millet (*Panicum miliaceum* L.) by adding emulsifiers, transglutaminase and xylanase. *LWT - Food Science and Technology*, *51*(1), 361–66. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.10.020
51. Shah, Amita R., Shah, R.K., & Madamwar, D. (2006). Improvement of the quality of whole wheat bread by supplementation of xylanase from *Aspergillus foetidus*. *Bioresource Technology*, *97*(16), 2047–53. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.10.006.
52. Shahbazi, M., Rajabzadeh, Gh., & Sotoodeh, Sh. (2017). Functional characteristics, wettability properties and cytotoxic effect of starch film incorporated with multi-walled and hydroxylated multi-walled carbon nanotubes. *International Journal of Biological Macromolecules*, *104*, 597–605. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.031
53. Sheikholeslami, Z., Mahfouzi, M., Karimi, M., & Ghiafehdavoodi, M. (2021). modification of dough characteristics and baking quality based on whole wheat flour by enzymes and emulsifiers supplementation. *LWT - Food Science and Technology*, *139*(3), 110794. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110794
54. Silva, D., Batista, C., Lopes Almeida, E., & Kil Chang, Y. (2016). Interaction between xylanase, glucose oxidase and ascorbic acid on the technological quality of whole wheat bread. *Food Technology*, *46*(12), 2249–56. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151587
55. Van Steertegem, B., Pareyt, B., Brijs, K., & A. Delcour, J. (2013). Impact of mixing time and sodium stearoyl lactylate on gluten polymerization during baking of wheat flour dough. *Food Chemistry*, *141*(4), 4179–85. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.017
56. Sun, D. (2016). *Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation*. Academic Press.
57. Lauren, T., Chen, G., Tilley, M., & Li, Y. (2020). Individual Effects of Enzymes and Vital Wheat Gluten on Whole Wheat Dough and Bread Properties. *Journal of Food Science*, *85*(12), 4201–8. https://doi.org/10.1111/1750-3841.15517
58. Yaoqi, T., Xu, X., Li, Y., Jin, Zh., Chen, H., & Wang, H. (2009). Effect of β-cyclodextrin on the long-term retrogradation of rice starch. *European Food Research and Technology*, *228*(5), 743–48. https://doi.org/10.1007/s00217-008-0985-9
59. Wijngaard, H.H., & Arendt, E.K. (2006). Buckwheat. *Cereal Chemistry*, *83*(4), 391–401. https://doi.org/10.1094/CC-83-0391
60. Tianyi, Y., Bai, Y., Wu, F., Yang, N., Zhang, Y., Bashari, M., Jin, Zh., & Xu, X. (2014). Combined effects of glucose oxidase, papain and xylanase on browning inhibition and characteristics of fresh whole wheat dough. *Journal of Cereal Science*, *60*(1), 249–54. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.04.002
61. Chong Fei, Z., Qian, P., Meng, J., Ming Gao, Sh., & Rong Lu, R. (2016). Effect of glycerol and sorbitol on the properties of dough and white bread. *Cereal Chemistry*, *93*(2), 196–200. https://doi.org/10.1094/CCHEM-04-15-0087-R
62. Zulfiqar, A., Sadiq Butt, M., Ahmed, A., Riaz, Syed Mubashar Sabir, M., Farooq, U., & Ur Rehman, F. (2014). Effect of *Aspergillus niger* xylanase on dough characteristics and bread quality attributes. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(10), 2445–53. https://doi.org/10.1007/s13197-012-0734-8